



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA

EAP. DE MEDICINA VETERINARIA

Estrés de calor en bovinos lecheros en el Perú

TESINA

Para optar el Título de Médico Veterinario

AUTOR

Renzo Renatto Jarama Arditto

LIMA – PERÚ
2011

CONTENIDO

	Pág.
CONTENIDO	ii
RESUMEN	iv
SUMMARY	v
LISTA DE TABLAS Y CUADROS	vi
LISTA DE FIGURAS	vii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. Fundamentos de la termorregulación	3
El ambiente y el calor	3
Homeotermia y termorregulación	5
Fuentes de calor corporal	6
Vías de eliminación de calor	7
Aislamiento térmico	9
Índice de temperatura y humedad (ITH)	9
Índice de relación verano/invierno	11
2.2. Efectos del estrés de calor	12
1. Cambios fisiológicos y de comportamiento	12
Cambios en la función celular	13
Cambios en la función hormonal	15
Frecuencia respiratoria	16
Condición corporal y energía de mantenimiento	16
Ingesta y consumo de materia seca	16
Consumo de agua y minerales	17
2. Efectos en la producción de leche	18
3. Efectos en la reproducción	19
4. Efectos en sanidad	22

Mastitis	22
Acidosis ruminal	23
5. Efectos en la recría	24
2.3. Estrategias para reducir el estrés de calor	25
1. Sombras en los corrales	25
2. Cambios en la dieta diaria	26
Cambio en el horario de alimentación	26
Uso de dietas frescas	26
Uso de grasas sobrepasantes	27
Uso proteína	28
Uso de minerales y equilibrio ácido-báse	28
Uso de aditivos	29
3. Consumo de agua	30
4. Manejo de la vaca en seca	30
5. Selección genética	31
2.4. Sistemas de enfriamiento utilizados en el mundo	32
1. Enfriamiento por evaporación	32
2. Ventilación forzada	33
3. Mojado y ventilación forzada	34
4. Nebulización	36
5. Túnel de ventilación	36
6. Ventilación cruzada de bajo perfil (LPCV)	37
2.5. Presencia del estrés de calor en el Perú	37
III. DISCUSIÓN	39
IV. CONCLUSIÓN	43
V. RECOMENDACIONES	44
VI. LITERATURA CITADA	45
VII. ANEXOS	52

RESUMEN

El presente trabajo buscó discutir la presencia del estrés de calor en el ganado de leche de establos de la costa norte y centro del Perú, como uno de los principales problemas que afecta económicamente la ganadería lechera, y sugerir alternativas para reducir su efecto, siendo un tema muy conocido en nuestro medio, pero con muy pocas aplicaciones en la práctica. Sabemos que el problema existe y se complica desde que tenemos niveles de humedad relativa (HR) muy altos, especialmente en verano cuando la temperatura se incrementa significativamente. Según los datos recopilados, se concluyó que en el Perú sí hay presencia de estrés de calor en el ganado vacuno de leche; sin embargo, no se han realizado estudios ni se tienen datos fehacientes sobre los efectos que produce el estrés de calor, por lo que muy pocos ganaderos optan por tratar de minimizarlos adecuadamente.

Palabras Clave: Estrés de calor, bovinos, humedad relativa, homeotermia, enfriamiento.

SUMMARY

The present study looked to discuss the presence of heat stress in dairy cattle in stables in the northern and central coast of Perú, as one of the main problems affecting the economy of dairy cattle farming, and to suggest alternatives to reduce its consequences, being this a very known subject in our circle, but with few practical applications. The problem and its complications are detected when very high levels of relative humidity are found in the cattle, especially during summer when the temperature increases significantly. According to the data gathered in this study, it concluded that heat stress in dairy cattle is present in Perú; however, no previous studies have been conducted and no reliable data is available on the effects produced by heat stress, reasons why only few farmers are able to minimize them properly.

Key words: Heat stress, dairy cattle, relative humidity, homeothermy, cooling.

ÍNDICE DE TABLAS Y CUADROS

	Pág.
Cuadro 1: Tabla de Índice de Temperatura y Humedad. Jiménez, 2005.	10
Cuadro 2: Relación V:I para producción de leche en vacas de Israel. Flamenbaum, 2007.	12
Cuadro 3: Relación V:I para tasa de concepción al primer servicio en vacas de Israel. Flamenbaum, 2007.	12
Cuadro 4: Dimensiones de las sombras. Elaboración propia.	26

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Temperatura ambiental y zona termoneutral de la de la vaca.	4
Figura 2: Origen del calor corporal.	7
Figura 3: Esquema de las pérdidas de calor.	9
Figura 4: Expresión de las Hsp.	14
Figura 5: Efecto del estrés de calor en la producción de leche.	18
Figura 6: Efecto del estrés de calor en la reproducción.	21
Figura 7: Acidosis ruminal por efecto del estrés de calor.	24
Figura 8: Funcionamiento del sistema de mojado y ventilación forzada.	35
Figura 9: Túnel de ventilación.	36
Figura 10: Promedio de producción de leche anual cuenca de Lima.	37

I. INTRODUCCIÓN

El bienestar animal es el resultado de la aplicación de prácticas sensatas y sensibles en la cría de animales; está estrechamente ligado a la sanidad, que de igual modo depende de un buen cuidado de los animales; en los sistemas de producción lechera esto incluye no sólo los animales que producen leche, sino también los recién nacidos, animales de reemplazo y los machos; cualquier alteración en el bienestar animal conlleva a una situación de estrés (FAO, 2008).

El estrés es una reacción fisiológica del organismo, en el cual entran en juego diversos mecanismos de defensa para afrontar una situación que se percibe como amenazante o de demanda incrementada. Dentro de una zona específica, el estrés viene a ser el efecto ambiental sobre un individuo que sobrepasa sus sistemas de control y puede reducir su capacidad productiva y ser transmitida a otras generaciones (Jiménez, 2005). El tipo de estrés que provoca mayores pérdidas por la disminución del comportamiento productivo y la dificultad para la adaptación de los animales es el estrés de calor (Martínez, 1992).

El estrés de calor es el resultado del balance negativo entre la cantidad de energía que circula desde el animal hacia el ambiente que lo rodea y la capacidad que tiene éste para poder eliminarla; este desbalance es inducido por la combinación de factores ambientales (humedad, temperatura, ventilación) y propios del animal (mecanismos termorregulatorios) (St. Pierre *et al.*, 2003).

Los efectos del estrés de calor ocurren cuando un animal no puede perder el excesivo calor corporal que produce, desencadenando una serie de mecanismos que pueden repercutir en la producción de leche, la reproducción y la sanidad de las vacas (Coventry y Philips, 2000). Las condiciones climáticas en las que aparece el estrés de calor son caracterizadas por

ambientes con una intensa radiación por un largo período de tiempo y con presencia de una alta humedad relativa (West, 2003a).

Además de deprimir la producción debido al déficit energético y proteico ocasionado por la reducción del consumo voluntario y a los cambios metabólicos, la reproducción es el factor más afectado debido a que alarga los ciclos estrales, acorta el periodo de celo, incrementa el número de ovulaciones silenciosas, y aumenta la mortalidad embrionaria y la presencia de óvulos defectuosos (Martínez, 1992).

Los ganaderos lecheros de todo el mundo, en especial en zonas calurosas, son conscientes del efecto negativo del calor del verano sobre la producción de leche de sus vacas. Muy pocos tienen los conocimientos y medios adecuados para cuantificar las verdaderas pérdidas económicas, así como el potencial que tiene el enfriamiento intensivo, al reducir dichas pérdidas e incrementar las ganancias de su negocio (Flamenbaum, 2010b). La pérdida anual de leche debido a la influencia de los meses calurosos de verano, es de más de 500 kilos de leche por vaca, a lo que debe agregarse problemas reproductivos, incremento de costos por problemas de salud y reducción de la calidad de la leche (Flamenbaum, 2008; Rhoads *et al.*, 2009).

En el Perú, no somos ajenos a este problema; por el contrario, el estrés de calor es la principal causa de pérdida de producción en ganado lechero, sin embargo no se han realizado muchos trabajos aplicativos para reducirlo, además que son pocos los ganaderos y profesionales que han mostrado preocupación por este aspecto, al no tener la posibilidad de una tecnología adecuada o por desconocimiento del tema.

El objetivo del presente trabajo es discutir la presencia del estrés de calor en el ganado de leche de establos de la costa norte y centro del país como uno de los principales problemas que afecta económicamente la ganadería lechera, y sugerir alternativas para reducir su efecto, siendo un tema muy conocido en nuestro medio, pero con muy pocas aplicaciones en la práctica, y que en la actualidad el ganadero tiene la oportunidad de realizar.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. FUNDAMENTOS DE LA TERMORREGULACIÓN

El ambiente y el calor.

El clima es el resultado de una combinación de elementos que afectan la vida de los seres vivos, que incluye la temperatura, humedad, ventilación, radiación solar y presión barométrica. Dentro de un área climática existe un ambiente climático o térmico predominante, frente al que los animales se adaptan mediante mecanismos termorregulatorios. Existen muchos ambientes climáticos característicos que difieren alrededor del mundo y son dependientes de otros factores como la latitud, altitud, condiciones de evaporación, régimen de lluvias, disponibilidad de agua, proximidad a las montañas y otros factores más (St. Pierre *et al.*, 2003; West, 2003a; Martínez, 2006).

Los ambientes climáticos extremos (frío o calor) afectan negativamente al organismo animal repercutiendo en la expresión del potencial productivo. El frío afecta marcadamente a los animales recién nacidos, especialmente si no encuentran las condiciones adecuadas para su protección, sin embargo es poco significativo para los animales adultos o en producción; por otro lado, el calor afecta a todas las edades, y tiene efectos dramáticos sobre la producción y la reproducción de los animales, sobre todo en los de mayor potencial productivo (Martínez, 2006).

El calor es la energía que se transmite desde un sistema con alta temperatura a otro de menor temperatura, está influenciado por dos factores importantes: la temperatura ambiental y la humedad relativa; la primera es la principal respuesta a la fuente de calor y la segunda es la encargada de propagarlo. La acción conjunta de ambos factores genera un ambiente climático difícil de soportar para cualquier individuo en especial cuando está en producción (Martínez, 2006).

La temperatura mide la intensidad del calor, y es medida en grados Fahrenheit (°F) o en grados Celsius (°C). La temperatura ambiental óptima es aquella que exige el mínimo consumo de alimento para mantener la temperatura corporal dentro de los límites normales y maximizar el crecimiento y la producción. Cada animal tiene un rango de temperatura ambiental óptima, que se conoce como zona de confort o termoneutral, en el cual el metabolismo animal se encuentra en su estado basal y es variable de acuerdo a la especie y a la raza. Cuando los animales están a una temperatura inferior o superior a la temperatura de su zona termoneutral, su ritmo metabólico aumenta o disminuye por encima o por debajo de lo normal. La capacidad para mantener la temperatura del cuerpo es esencial para una cantidad de reacciones bioquímicas y procesos fisiológicos asociados con el metabolismo normal (Jiménez, 2005; Mujibi *et al.*, 2010).

La temperatura ambiental óptima para las vacas se encuentra entre 7 y 22 °C; dentro de este rango la vaca puede mantener la temperatura corporal sin realizar ningún esfuerzo adicional, es decir, sin necesidad de utilizar mecanismos fisiológicos compensatorios. A partir de los 22°C se observa que las vacas comienzan a incrementar su frecuencia respiratoria (enfriamiento respiratorio), perdiendo efectividad por encima de los 27°C (Figura 1); esto sucede debido a que la relación del volumen de los pulmones con respecto al volumen total del cuerpo es mucho menor, y no es suficiente para disipar la cantidad de calor que produce la vaca (Jiménez, 2005; Oberto *et al.*, 2006).

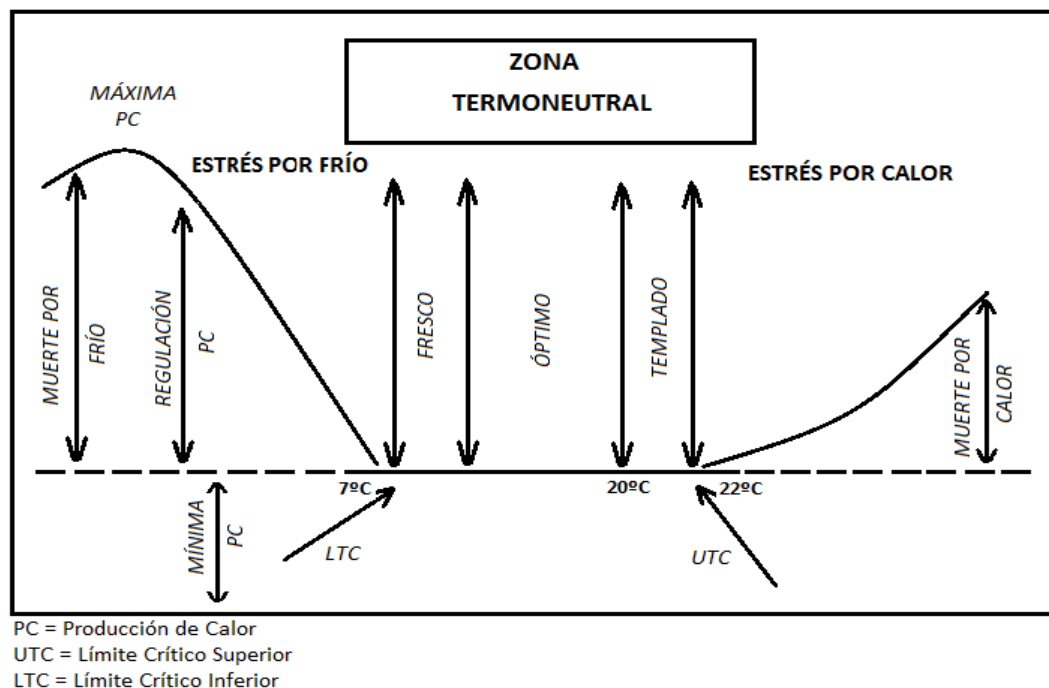


Figura 1: Temperatura ambiental y zona termoneutral de la de la vaca.

El otro factor importante es la humedad, y se expresa comúnmente de dos formas: La humedad absoluta (HA), que es el peso de agua que contiene cada metro cúbico de aire, expresada en g/m³, y la humedad relativa (HR), que es el porcentaje de agua que posee una masa de aire (%). La HR también tiene influencia sobre el confort del ganado; cuando la HR es superior a 50%, y la temperatura es mayor a 27°C, empieza a afectar a los animales en producción, generando el estrés de calor (West, 2003a).

Homeotermia y termorregulación.

El mantenimiento constante de la temperatura corporal en un individuo se conoce como homeotermia y esta función es decisiva para mantener las funciones corporales críticas a expensas de la alteración de otras funciones fisiológicas (Jiménez, 2005). La homeotermia es el resultado de equilibrar el calor producido por el organismo, con la pérdida o ganancia de calor desde el ambiente que lo rodea. Cuando la temperatura ambiental es tan alta que para poder mantener la homeotermia, el organismo debe eliminar calor de forma activa, entonces hablamos de una situación de estrés por calor (Mader *et al.*, 2006; Martínez, 2006).

Las especies homeotérmicas tienen la habilidad de regular su temperatura corporal dentro de un estrecho rango, debido a mecanismos de regulación autónomos, y que les ha permitido sobrevivir a ciertas fluctuaciones de temperatura ambiental, este mecanismo se denomina termorregulación (Katschinski, 2004). Si el calor producido metabólicamente por el organismo de la vaca es mayor que el calor disipado hacia el medio ambiente se estará generando una hipertermia que requiere de la activación de distintos mecanismos termorreguladores (Aréchiga y Hansen, 2003).

El animal puede dar o recibir energía térmica del medio ambiente; la radiación solar y la temperatura del aire por encima de la temperatura normal del cuerpo, van a aumentar la carga de calor en el individuo, reduciendo el intercambio de calor en la superficie del cuerpo (Brouk, 2005). En estas condiciones, el sistema circulatorio se convierte en la principal fuerza para diseminar calor del núcleo corporal hacia la superficie epidérmica, realizando la termorregulación, facilitando los procesos de la pérdida calórica activa, como son: sudoración, evaporación, respiración forzada y jadeo (Araúz *et al.*, 2010).

Las vacas son mamíferos, y por lo tanto, animales homeotermos, y esto significa que a pesar de las fluctuaciones en la temperatura ambiente son capaces de mantener un rango de temperatura corporal interna relativamente constante, que se encuentra alrededor de 38.5 a 39.5 °C, mediante sus mecanismos termorregulatorios. La variación normal de la temperatura

corporal durante el día debe ser de 0,6 a 1,2°C, un incremento por encima de 1,2°C es signo de enfermedad o de deficiente adaptación a la elevación térmica. La excepción a esta regla son los dromedarios y los camellos que soportan cambios de 5,4°C (Jiménez, 2005).

La diseminación del ganado vacuno alrededor del mundo generó la movilización de genotipos regionales a otras latitudes, adaptándose estos animales a nuevos ambientes específicos. Por ello, en la actualidad es común observar razas que predominan en lugares diferentes a su lugar de origen y la adaptación al medio ambiente de algunos genotipos bovinos con el desarrollo de características genéticas y fisiológicas especiales (Aréchiga y Hansen, 2003). Por ejemplo, *Bos indicus* parece adaptarse más rápido a condiciones calientes y húmedas que *Bos taurus* (Beatty *et al.*, 2006).

El ganado de raza Brown Swiss es más resistente al calor que el Holstein, debido a que es más rústico y la captación de la temperatura corporal bajo estrés de calor es menos pronunciada (Lacetera *et al.*, 2006). En sistemas de doble propósito, el ganado criollo lechero tropical ha mostrado cualidades ya sea en producción, reproducción o la habilidad de aclimatarse y adaptarse a las condiciones ambientales adversas que imperan en las regiones tropicales (Hernández *et al.*, 2007).

Fuentes de calor corporal.

El calor producido por el organismo del animal no sometido a estrés de calor procede de la energía consumida en el mantenimiento del animal y la utilización en los procesos productivos, como son crecimiento, lactación, gestación, cambio de las reservas corporales (Figura 2), en los rumiantes incluye además el calor generado en la fermentación ruminal del alimento consumido (Martínez, 2006). Este consumo de energía se estima en un 31% para una vaca de 600 kg de peso y 40 kg de producción de leche diaria (West *et al.*, 2003b).

La producción de calor corporal en las vacas lecheras está influenciada por diferentes factores, como son:

- La actividad física, la distancia que tienen que recorrer para ir al comedero, al bebedero o a la sala de ordeño, dependen del diseño de las instalaciones donde el hacinamiento y la falta de sombras tienen gran relevancia.
- La producción de leche, las vacas de mayor rendimiento lechero son las que más calor generan y más fácil entran en estrés por calor y por el contrario las vacas secas son más tolerantes al calor. Las vacas que han sido tratadas con Somatotropina bovina recombinante (bST), producen 25% más calor que las no tratadas.

- El estado reproductivo, en vacas preñadas, la cría produce dos veces más calor por unidad de peso que la vaca y todo este calor generado lo retiene la vaca. Si las vacas están en el último tercio de la gestación, en el verano se va a acumular más grasa y ésta actuará de aislante dificultando más la pérdida de calor.
- El consumo de materia seca, la vaca usa el 60 a 65% de la energía consumida diariamente en la producción de carne o de leche, el 35 a 40 % restante es convertida en calor, a medida que la vaca ingiere más materia seca más aumenta el metabolismo y más calor se acumula.
- La selección, vacas de alta producción lechera tienen un alto metabolismo y como consecuencia una gran capacidad de generar calor (West *et al.*, 2003b; Jiménez, 2005).

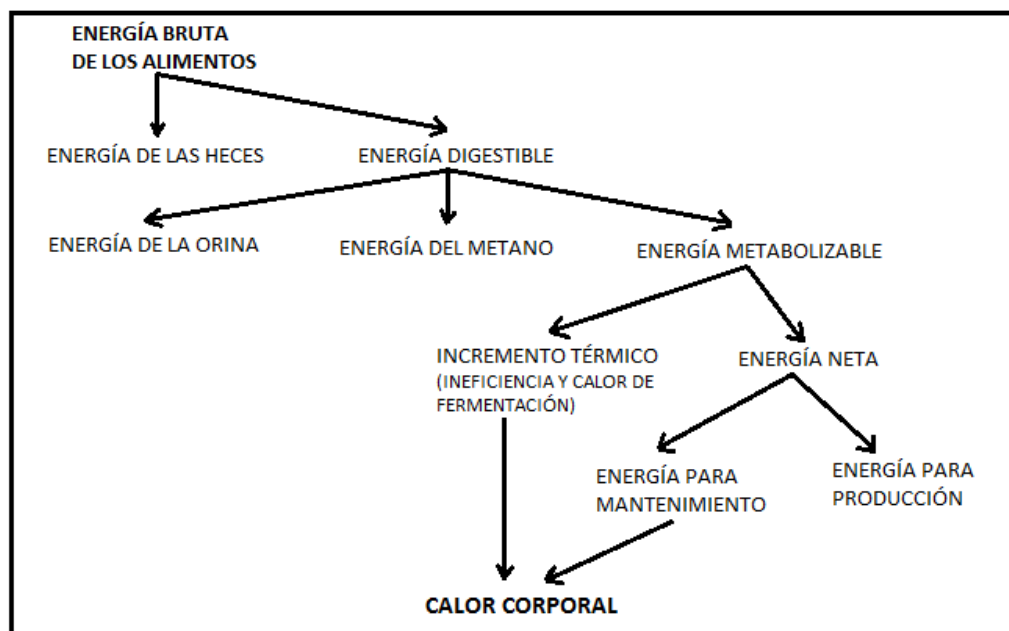


Figura 2: Origen del calor corporal. Fuente: Martínez, 2006.

Además del calor del cuerpo procedente del metabolismo normal del organismo, está influenciado por el obtenido del ambiente (Jiménez, 2005). Entonces, el calor acumulado en una vaca sometida a estrés de calor, viene a ser la suma del calor producido por los procesos metabólicos, el calor del medio ambiente y el fracaso del organismo del animal al no poder disiparlo (West, 2003a).

Vías de eliminación de calor.

La vaca trata de eliminar calor aumentando la frecuencia respiratoria, lo que se denomina “enfriamiento respiratorio”, sin embargo el área pulmonar de las vacas con respecto al volumen de masa corporal es muy pequeño, en relación con otras especies; lo cual nos indica que es insuficiente la eliminación de calor por medio de esta función. Otra forma de eliminar el

calor sería mediante el sudor, lo que se denomina “enfriamiento evaporativo”; sin embargo, las glándulas sudoríparas están atrofiadas, por lo que este mecanismo tampoco es adecuado para las vacas, funcionando sólo al 10% de su capacidad (Oberto *et al.*, 2006).

La vaca lechera es capaz de eliminar el calor principalmente mediante cuatro mecanismos: *Radiación, Convección, Conducción y Evaporación* (Anexo 1).

La radiación es la forma de eliminación del calor a través de rayos infrarrojos, que no son sino una forma de manifestación de la energía calórica y el reflejo de los rayos solares en forma de ondas electromagnéticas; para que este mecanismo funcione es necesario que la temperatura de la piel del animal sea mayor a la del ambiente circundante (Jiménez, 2005).

La convección es la transferencia de calor mediante la movilización física de las partículas que rodean al animal; como consecuencia de esta movilidad, las moléculas de aire que tocan la superficie del animal, se desplazan transportando la carga de calor. De igual manera que la anterior, este sistema será efectivo para eliminar calor cuando la temperatura de la piel del animal sea mayor a la del movimiento del aire que lo rodea (Jiménez, 2005).

La conducción consiste en la eliminación de calor mediante la transferencia de energía entre dos superficies próximas, este mecanismo tiene un papel importante en la transmisión de calor desde el interior del organismo de la vaca hacia la superficie que viene a ser la piel; la efectividad de este proceso será determinada por la propia naturaleza de los tejidos u órganos a través de los cuales el calor es desplazado. Este mecanismo también podrá ser válido para conducir el calor de la piel hacia el medio, siempre y cuando el contacto con la superficie que reciba el calor, tenga una temperatura inferior a la de la piel (Jiménez, 2005).

La evaporación es el proceso de pérdida de calor que se logra a partir de la transformación de energía térmica en vapor de agua; se produce desde la superficie del animal en diferentes circunstancias: espiración, sudoración (glándulas sudoríparas), difusión de agua subcutánea (sin participación de glándulas sudoríparas), salivación, defecación y orina. El agua producida por estos mecanismos sobre la superficie del animal, arrastra calor proveniente del interior del organismo, formando vapor de agua y eliminándola al medio ambiente (Jiménez, 2005).

Conforme el calor ambiental se aproxima a la temperatura corporal del animal, las vías de eliminación de calor como la radiación, conducción y convección llegan a ser ineficientes, y es la evaporación la principal y única forma de disipar el calor generado en la vaca, utilizando la respiración y la piel para realizar este proceso (Figura 3) (Jiménez, 2005).

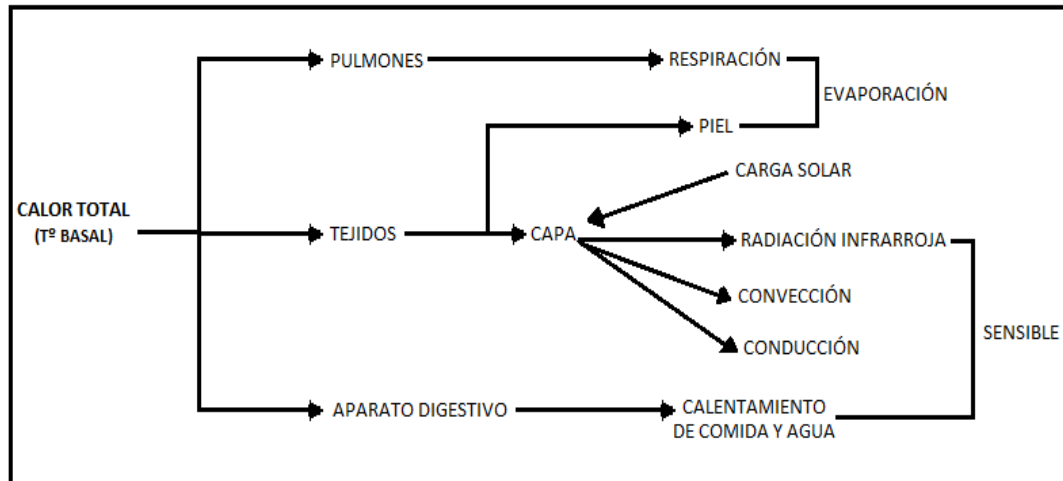


Figura 3: Esquema de las pérdidas de calor. Fuente: Martínez, 2006.

Aislamiento térmico.

La grasa subcutánea es la primera barrera frente a la pérdida de calor y su efecto depende del grosor interpuesto entre el interior del organismo y la superficie. La capacidad aislante de la piel depende de la longitud del pelo y puede modificarse por efecto del viento y de la lluvia (Martínez, 2006).

El principal mecanismo fisiológico para controlar la pérdida de calor corporal es la modificación del flujo de sangre que llega a la superficie corporal y la redistribución del mismo. La vasodilatación periférica facilita la pérdida de calor sensible al reducir el efecto del aislamiento tisular y favorece la eliminación de calor por evaporación al facilitar la difusión de agua desde la piel. La modificación del ritmo respiratorio regula la pérdida de calor a través del aire exhalado desde los pulmones (Martínez, 2006).

Además de las adaptaciones fisiológicas los animales mediante su comportamiento, pueden alterar la eficacia del aislamiento, así utilizan cambios de postura para modificar la superficie corporal, reducen el área de contacto con el suelo evitando echarse, o buscan protección del sol y la lluvia (Martínez, 2006).

Índice de temperatura y humedad (ITH)

El incremento gradual en la temperatura corporal va a aumentar la frecuencia respiratoria y va a disminuir la eficiencia de eliminación de humedad por la vía respiratoria, por lo que el estrés de calor depende también de la HR, que es la cantidad de vapor de agua presente en el aire (Jiménez, 2005).

La temperatura y la HR son muy variables, no sólo entre climas, sino además entre estaciones, días y horas durante el día (Berman, 2009). Mediante esta combinación de temperatura (T°) y HR, se desarrolló un parámetro denominado Índice Termo Higrométrico (ITH) o Índice de Temperatura y Humedad (ITH) en donde se establecieron 5 zonas de confort o de riesgo para las vacas de leche (Jiménez, 2005; Oberto *et al.*, 2006; Cruz y Saravia, 2008).

El ITH se calcula de la siguiente manera:

$$ITH = 0,81 \times T^{\circ} + HR/100 (T^{\circ} - 14,4) + 46,4$$

El resultado se expresa en porcentaje y se puede observar en el cuadro 1:

		HUMEDAD RELATIVA (%)																				
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
T E M P E R A T U R A	22,0																				72	72
	23,0																		72	72	73	73
	23,5																72	72	73	73	74	74
	24,0														72	72	73	73	74	74	75	75
	24,5			SIN STRESS									72	72	73	73	74	74	75	75	76	76
	25,0											72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77
	25,5										72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	77	78
	26,0									72	73	73	74	74	75	76	76	77	77	78	78	79
	26,5							72	72	73	73	74	75	75	76	76	77	78	78	79	79	80
	27,0						72	72	73	73	74	75	75	76	77	77	78	78	79	80	80	81
	28,0						72	73	73	74	75	75	76	77	77	78	79	79	80	81	81	82
	28,5					72	73	73	74	75	75	76	77	78	78	79	80	80	81	82	82	83
	29,0				72	73	73	74	75	75	76	77	78	78	79	80	80	81	82	83	83	84
	29,5			72	72	73	74	75	75	76	77	78	78	79	80	81	81	82	83	84	84	85
	30,0			72	73	74	74	75	76	77	78	78	79	80	81	81	82	83	84	84	85	86
	30,5		72	73	73	74	75	76	77	77	78	79	80	81	81	82	83	84	85	85	86	87
	31,0	72	72	73	74	75	76	76	77	78	79	80	81	81	82	83	84	85	86	86	87	88
	31,5	72	73	74	75	75	76	77	78	79	80	80	81	82	83	84	85	86	86	87	88	89
	32,0	72	73	74	75	76	77	78	79	79	80	81	82	83	84	85	86	86	87	88	89	90
	33,0	73	74	75	76	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	86	87	88	89	90	91
33,5	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	85	86	87	88	89	90	91	92	
34,0	74	75	76	77	78	79	80	80	81	82	83	85	85	86	87	88	89	90	91	92	93	
34,5	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	86	86	87	88	89	90	91	92	93	94	
35,0	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	
35,5	75	76	77	78	79	80	81	82	83	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	
36,0	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	91	92	93	94	95	96	97	
36,5	76	77	78	79	80	82	83	83	85	86	87	88	89	90	91	93	94	95	96	97	98	
37,0	76	78	79	80	81	82	83	84	85	87	88	89	90	91	92	93	94	96	97	98	99	
38,0	77	78	79	80	82	83	84	85	86	87	88	90	91	92	93	94	95	97	98	99		
38,5	77	79	80	81	82	83	84	86	87	88	89	90	92	93	94	95	96	97	99			
39,0	78	79	80	81	83	84	85	86	87	89	90	92	94	95	96	97	98					
39,5	78	79	81	82	83	84	86	87	88	89	91	92	93	94	96	97						
40,0	79	80	81	82	84	85	86	88	89	90	91	93	94	95	96							

Cuadro 1: Tabla de Índice de Temperatura y Humedad. Fuente: Jiménez, 2005.

En base a este índice se distinguen cuatro categorías:

- 1) Menor a 70, considerada como situación normal.
- 2) De 70 a 78, situación de alerta, por encima de 72 se supera el límite crítico para la producción de leche.
- 3) De 78 a 82, se considera situación de peligro.
- 4) Mayor a 82, se califica como situación de emergencia (Berman, 2005; Cruz y Saravia, 2008).

Hasta un valor de ITH del 72 % las vacas no se encuentran en riesgo de estrés de calor, entre 72 % y 78 % las vacas ya tienen un estrés leve, entre 79 % y 89 % las vacas lecheras entran en un estrés severo, entre 90 % y 98 % las vacas se encuentran ya en un estrés muy severo y por encima de 98 % las vacas mueren de golpe de calor (Jiménez, 2005; Bohmanova *et al.*, 2007).

A pesar de ser un buen instrumento para medir el riesgo de estrés de calor en las vacas, el ITH en varios valores difiere y no se ajusta a todos los climas; ciertos valores son más convenientes con una alta HR en un clima húmedo. (Bohmanova *et al.*, 2007; Dikmen y Hansen, 2009). Este índice es utilizado por el ganadero para ubicar en qué condiciones de estrés de calor se encuentra la zona en la que se encuentra su establo, pudiendo tomar acciones para reducir su efecto (Vitali *et al.*, 2009), sin embargo no se puede medir la magnitud económica del estrés de calor en todos los niveles de producción.

Índice de relación verano/invierno.

En los últimos años se ha desarrollado un índice denominado "Relación de Performance Verano/Invierno", que permite evaluar de manera más práctica la eficiencia de los procedimientos para reducir el estrés de calor. Este índice evalúa el rendimiento en verano respecto a la del invierno, tomando en cuenta el invierno como base (Flamenbaum, 2007).

El índice analiza datos de producción de leche, precio, grasa, proteína, conteo de células somáticas (SCC), la tasa de concepción, etc., durante los meses de invierno y verano. En base a este reporte se determinan prioridades de asistencia técnica, concentrando y enfocando los esfuerzos en los establos con mayores problemas (Flamenbaum, 2007).

Con cada parámetro medido, la proporción es igual al rendimiento durante el verano (V), dividido entre el rendimiento en invierno (I) y multiplicado por 100 (%). Si la proporción V:I es cercana a 1 ó a 100%, entonces el ganadero estará controlando apropiadamente el estrés

de calor en su establo, logrando que las pérdidas en verano sean mínimas, además permite evaluar los resultados obtenidos en relación a las medidas tomadas por el ganadero; un ejemplo de este índice podemos observarlo en los cuadros 2 y 3 (Flamenbaum y Ezra, 2009).

Estación	Vacas Primerizas		Vacas Adultas	
	Enfriamiento	Control	Enfriamiento	Control
Invierno (kg)	33.6	32.3	40.6	38.6
Verano (kg)	33.1	30.2	40	35
Relación V:I (%)	98	93	98	91

Cuadro 2: Relación V:I para producción de leche en vacas de Israel. Fuente: Flamenbaum, 2007.

Estación	Vacas Primerizas		Vacas Adultas	
	Enfriamiento	Control	Enfriamiento	Control
Invierno (%)	56	54	47	44
Verano (%)	41	15	34	17
Relación V:I (%)	73	28	72	39

Cuadro 3: Relación V:I para tasa de concepción al primer servicio en vacas de Israel. Fuente: Flamenbaum, 2007.

2.2. EFECTOS DEL ESTRÉS DE CALOR.

Las repercusiones del estrés de calor se observan en la producción, el rendimiento reproductivo y la propia salud de la vaca, y están mediadas por toda una serie de mecanismos complejos de adaptación del propio organismo de la vaca (Jiménez, 2005).

1. Cambios fisiológicos y de comportamiento.

Cuando la temperatura ambiental supera a la temperatura corporal, el organismo debe activar mecanismos fisiológicos para favorecer la eliminación de calor y mantener la homeotermia. Estos mecanismos alteran la función celular e incluyen desde cambios a nivel celular y hormonal, hasta llegar a niveles orgánicos como vasodilatación periférica, sudoración y jadeo. Si la situación es duradera, la adaptación a las altas temperaturas supone una reducción

del consumo de alimentos (y de nutrientes), y una alteración del metabolismo hídrico y electrolítico (Martínez, 2006).

Cambios en la función celular.

Todos los procesos celulares y bioquímicos dependen en mayor o menor medida de la temperatura (Katschinski, 2004). La exposición a elevadas temperaturas ambientales induce a un número de anomalías en la función celular, que incluye inhibición general de la síntesis de proteínas, defectos en la estructura y función proteica, cambios morfológicos en el citoesqueleto, cambios en el metabolismo, alteraciones en la membrana y disminución de la proliferación celular. Estas alteraciones producen grandes cambios en la transcripción genética y síntesis de proteínas que van a determinar la supervivencia o la muerte celular (Collier *et al.*, 2008).

La respuesta celular al estrés de calor incluye la síntesis de proteínas pertenecientes a un subgrupo denominado proteínas del shock térmico (*Hsp*); estas proteínas se encuentran en todo el organismo y aparecen en presencia de cualquier proceso que genere estrés en el animal, como hipertermia, shock e isquemia, incrementando la supervivencia celular. La función protectora de estas proteínas es la de ser acompañantes moleculares (chaperonas), que participan en el ensamblaje y transporte de proteínas desnaturalizadas y polipéptidos, con la capacidad de rodearlas, evitar su agregación y regresar a su estado funcional (Lodish *et al.*, 2003, Katschinski, 2004; Lacetera *et al.*, 2006; Fiorentino *et al.*, 2007).

Estas proteínas están clasificadas en 5 familias de acuerdo a su peso molecular (100, 90, 70, 60 kDa y más pequeñas). La *Hsp70* está presente tanto a nivel extracelular como intracelular, en el citosol y en la mitocondria; esta proteína se caracteriza por aparecer rápidamente después de que la célula ha sido estresada, asociándose con la activación de receptores α_1 y β -adrenérgicos; su forma tridimensional y la unión al ATP celular, hace que se encuentre en una forma cerrada, de manera que no pueda desnaturalizarse en el interior de la célula. Cuando la liberación de *Hsp70* es pasiva, puede ejercer una actividad inmunoestimulante, especialmente durante la muerte de células por necrosis o apoptosis (Lodish *et al.*, 2003, Lacetera *et al.*, 2006; Fiorentino *et al.*, 2007; Collier *et al.*, 2008).

En el bovino, la proteína más conocida es la *Hsp72* (72-kDa) y está ausente o expresada a bajo nivel cuando no hay presencia de estrés (Lacetera *et al.*, 2006). Su expresión se da en respuesta al estrés de calor, estrés oxidativo, cambios de pH o excesivo ejercicio, y está asociada con las células miocárdicas y del músculo esquelético, protegiéndolas de isquemia y la

apoptosis. Esta proteína se incrementa también a nivel extracelular, compensando la depresión inmunológica (Staib *et al.*, 2007; Stary *et al.*, 2008; Selkirk *et al.*, 2009).

La expresión de las *Hsp* es regulada por el factor de transcripción de shock térmico 1 (HSF1), que bajo condiciones normotérmicas, se encuentra inactivado en el citosol; al presentarse la situación de estrés de calor a nivel celular, el RNAm va a transcribir en el núcleo la activación de las *Hsp*, que van a unirse con las proteínas desnaturalizadas y al HSF1, éste se va a liberar y regresar al núcleo para realizar una retroalimentación y nuevas síntesis de *Hsp* y HSF1 (Figura 4). El proceso final para la regulación de la temperatura celular es el equilibrio entre la unión de *Hsp* libres con HSF1 o con proteínas desnaturalizadas (Katschinski, 2004; Staib *et al.*, 2007).

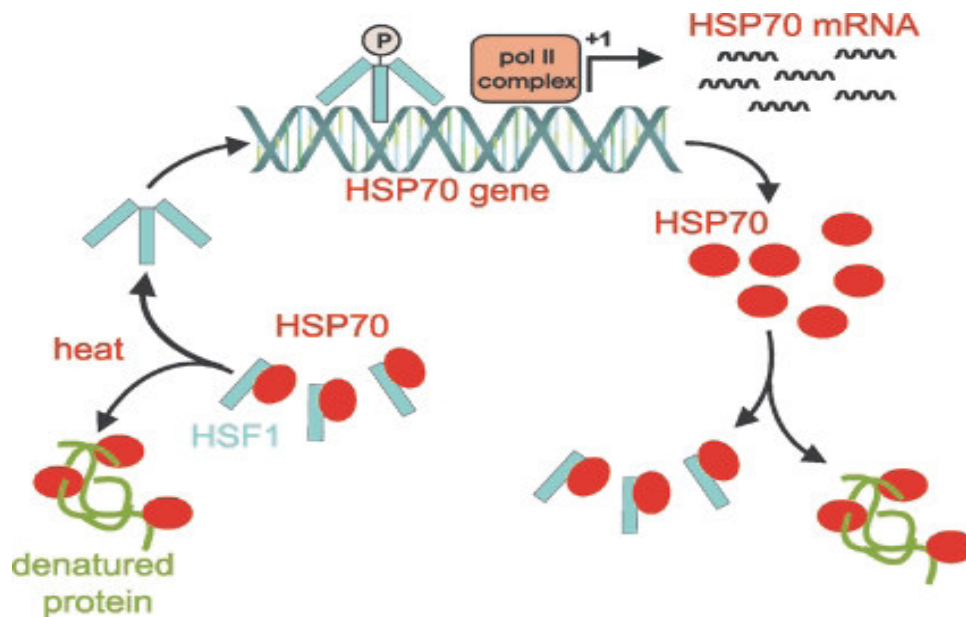


Figura 4: Expresión de las *Hsp*. Fuente: Katschinski, 2004.

El estrés de calor provoca diversos cambios que incluyen alteración de los valores hemáticos, descenso de la glucemia, descenso de la urea sanguínea y modificación de la actividad de las enzimas séricas (Martínez, 2006). Las neuronas termosensibles están ubicadas a través del cuerpo del animal y envían información al hipotálamo, que transmite numerosos cambios fisiológicos, anatómicos y de comportamiento en el intento de mantener el balance de calor corporal (West, 2003a).

También se ha observado una reducción de la actividad antioxidante en el plasma en vacas sometidas a estrés de calor, causando estrés oxidativo celular, promovido por la hipertermia y el resultado del incremento de la producción de radicales libres y especies

reactivas de oxígeno. La presencia de altas temperaturas y humedad relativa causa una caída en las defensas antioxidantes, las cuales no van a poder neutralizar las especies reactivas de oxígeno, incrementándose rápidamente, y dañando las macromoléculas, que finalmente va a repercutir en la salud del animal. A nivel celular, se afecta principalmente la mitocondria, incrementando la producción de superóxido y el daño macromolecular (Bernabucci *et al.*, 2002; Lacetera *et al.*, 2006; Haak *et al.*, 2009).

Por otro lado, la exposición a períodos largos de luz y calor, va a incrementar la expresión del RNAm de la Acetyl-CoA a nivel hepático, debido a la reducción de la enzima Acetyl-CoA deshidrogenasa, reduciéndose la oxidación de grasas, incremento de la lipogénesis y reduciendo la circulación de los ácidos grasos no esterificados (AGNE's o NEFA's), lo cual representaría una mayor movilización de grasas y presencia del síndrome del hígado graso en vacas en lactación (Do Amaral *et al.*, 2009).

Cambios en la función hormonal.

El proceso de acondicionamiento térmico en la vaca está asociado generalmente bajo una regulación endocrina. Se conocen dos hormonas que se incrementan en el plasma en respuesta al estrés de calor: prolactina y glucocorticoides, y están asociadas con la modificación celular. Cuando los glucocorticoides ingresan al citosol, causan la liberación de *Hsp* 70 y 90; esta acción constituye la primera línea de defensa contra el estrés térmico, debido a que las proteínas ya están en el citosol sin necesidad de síntesis. Finalmente, el complejo hormona-receptor ingresa al núcleo donde incrementa la expresión de genes *Hsp* (Collier *et al.*, 2008).

La acción de la prolactina, hormona muy vinculada a la síntesis y persistencia de la leche, está asociada con el incremento de la producción de las prostaglandinas. La prostaglandina A₁ (PGA₁) induce la síntesis de las *Hsp*, a nivel de útero y ovario, mientras que la prostaglandina E₁ (PGE₁), está asociada con la alteración del eje hipotalámico en presencia de fiebre (Collier *et al.*, 2008).

La secreción y la concentración plasmática de la hormona somatotropina se reduce a altas temperaturas. Los niveles de hormonas tiroideas descienden posiblemente en un intento de reducir el ritmo metabólico. El aumento de la adrenalina y noradrenalina indican la respuesta a una situación de estrés. La concentración de aldosterona sérica disminuye, favoreciendo la conservación de potasio y aumentando la eliminación renal de sodio (West, 2003a; Martínez, 2006).

Frecuencia respiratoria.

Lo primero que se observa es un incremento en la frecuencia respiratoria de la vaca que normalmente se encuentra entre 50 a 70 respiraciones por minuto; si el animal se encuentra bajo estrés de calor la frecuencia alcanza valores por encima de 70 respiraciones por minuto en al menos un 10% del total de vacas, llegando hasta 80 y 100 (Jiménez, 2005; Oberto *et al.*, 2006), presentándose hipertermia (Anexo 2).

El jadeo altera la ventilación alveolar afectando al pH sanguíneo, la presión parcial y concentración de dióxido de carbono. La eliminación más rápida de lo normal debido a la aceleración del ritmo respiratorio, reduce la presión parcial de dióxido de carbono en la sangre por lo que el pH de la misma tiende a subir, ocurriendo alcalosis metabólica (Martínez, 2006; Cook *et al.*, 2007).

Condición corporal y energía de mantenimiento.

En vacas de alto rendimiento las reservas corporales son sumamente importantes para alcanzar un adecuado nivel de producción en la primera fase de la lactancia. En el primer mes de lactancia, casi 35% de la energía requerida para la producción de leche es derivada de las reservas corporales (Flamenbaum, 2010a).

El gasto energético debido al jadeo aumenta prácticamente de forma exponencial a partir de los 25°C y supone un incremento de las necesidades de mantenimiento de aproximadamente un 30% sobre el metabolismo basal. El incremento de calor derivado de la actividad muscular al jadear se suma al calor total que el organismo debe disipar (Martínez, 2006).

Ingesta y consumo de materia seca.

La reducción en el consumo de alimentos por parte de la vaca tiene como objetivo reducir la producción del calor producido por la fermentación y por la actividad física al caminar, masticar y rumiar. El aumento del flujo de sangre hacia la piel para eliminar calor, hace que llegue menos flujo sanguíneo al rumen, llevando a una digestión más lenta y retrasada, disminuyendo la motilidad del rumen y provocando un efecto de llenado (Jiménez, 2005; Martínez, 2006).

La caída en el consumo de alimento se produce a partir de los 26°C de temperatura ambiental, y como consecuencia de ello, hay una reducción de los nutrientes esenciales para la

síntesis de leche. La disminución del consumo de materia seca por encima de 10% sirve como indicador de la presencia de estrés de calor en las vacas en producción. El impacto de la temperatura ambiental sobre el consumo de alimentos es inmediato, manifestándose el mismo día de exposición al calor (Martínez, 2006; Oberto *et al.*, 2006; Rhoads *et al.*, 2009).

A pesar de la fuerte reducción del consumo de materia seca que ocasiona el estrés de calor, sólo se va a afectar el 35% en la caída de la producción de leche por el estrés de calor, por lo que cambios en la dieta no solucionan por completo este problema; esto ocurre porque las vacas estresadas no movilizan tejido adiposo, lo que sí sucedería en casos de falta de alimento extremo, donde sí caería la producción severamente (Rhoads *et al.*, 2009).

Consumo de agua y minerales.

El agua es el nutriente más importante para el ganado y esta importancia se acentúa en ambientes cálidos; la pérdida de la quinta parte del agua en el organismo es fatal para la vaca (Beede, 1992). La sudoración, el jadeo y la salivación suponen un aumento importante de las necesidades de agua, a pesar que el organismo intenta compensar esta pérdida con la reducción de agua desde las heces. Una vaca de alta producción requiere entre 100 y 150 litros de agua al día, necesitando de 3 a 4 litros de agua por cada litro de leche que produce. El requerimiento de agua en estrés de calor es de 1.2 a 2 veces más agua por cada grado centígrado de elevación de la temperatura ambiente mínima diaria (Martínez, 2006).

Por otro lado, durante el estrés de calor, la disminución del consumo de alimentos, se reduce también el consumo de minerales; además se incrementan las pérdidas de estos minerales principalmente por el aumento del sudor, la orina y la saliva, de manera que disminuye su disponibilidad para la producción. El sudor contiene cantidades importantes de potasio y sodio; la saliva contiene principalmente sodio, pero también fósforo, potasio y cloro (Martínez, 2006).

La cantidad de hierro (Fe) y magnesio (Mg) en la hemoglobina de las vaquillonas tiene una demanda muy alta debido al crecimiento constante, además la caída en el consumo de alimento en vacas multíparas produce una reducción del hematocrito y la hemoglobina en la sangre, afectando a los animales recién nacidos, acentuándose en los meses de verano. Por otro lado, se ha observado una caída en la concentración plasmática de calcio (Ca), fósforo (P) y la enzima fosfatasa alcalina, y está relacionada con una menor concentración en el calostro de vacas en parto y vaquillonas con estrés de calor, afectando la eritropoyesis y los niveles de minerales en los recién nacidos (Kume *et al.*, 1998).

2. Efectos en la producción de leche.

En general las vacas sometidas al estrés de calor pueden perder de 5 a un 10% de su potencial productivo (Jiménez, 2005). Flamenbaum (2007) indica que las vacas que no son sometidas a refrigeración llegan a tener una producción de 7 – 10% menor en verano que en invierno, con una relación verano/invierno de 93% en primerizas y 91% en vacas adultas. Cuando el estrés de calor es de corta duración u oscilante las consecuencias sobre la producción son peores, a diferencia que si se alcanza una situación estable de altas temperaturas que permita una adaptación de larga duración por parte de las vacas (Martínez, 2006).

La síntesis y secreción de leche son procesos gobernados por una serie de hormonas, sensibles a mecanismos fisiológicos y ambientales. Entre estos mecanismos destacan las hormonas lactogénicas como la somatotropina (ST) y el IGF-I (Factor de crecimiento insulino dependiente), este último un potente estimulador de la síntesis de leche (Figura 5). Durante el balance energético positivo, la ST derivada de la hipófisis, envía señales para dotar de nutrientes a la glándula mamaria, reduciendo la captación de nutrientes del tejido adiposo y muscular, y estimulando la síntesis hepática y secreción de IGF-I; sin embargo, durante el balance energético negativo, causado por la lactación temprana, y acentuado por el estrés de calor, la producción tanto de ST y de IGF-I hepático se reducen, debido al menor flujo sanguíneo y el menor consumo de materia seca, quedando sólo la ST en menor proporción para la síntesis de leche (Collier *et al.*, 2008; Rhoads *et al.*, 2009).

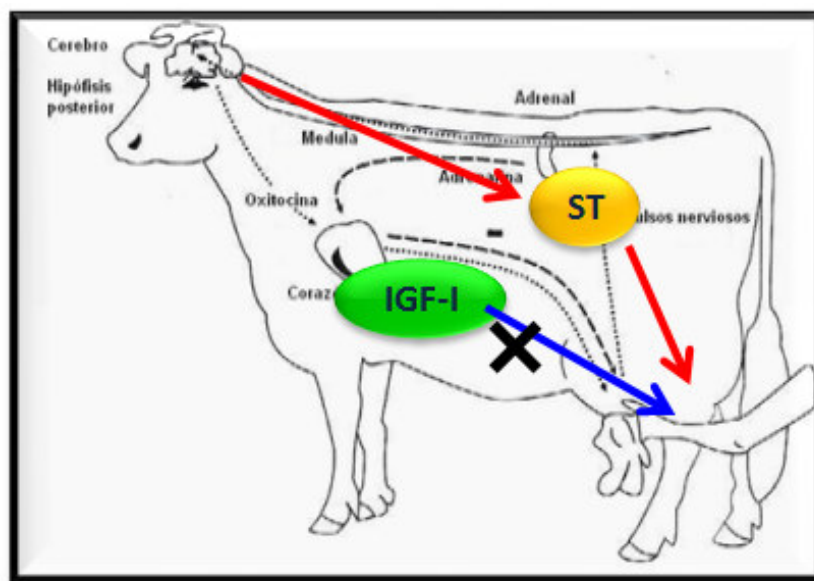


Figura 5: Efecto del estrés de calor en la producción de leche. Elaboración propia.

Aunque el estrés de calor afecta negativamente a las vacas a lo largo de toda la lactancia, incluyendo a las vacas secas, la manera en que son afectadas difiere según la etapa en la cual padecieron esta condición estresante. Al inicio de la lactancia, el estrés de calor causa disminución de la producción de leche y un pico de lactación más bajo, principalmente debido a una reducción en el consumo de materia seca. Cuando el estrés de calor se ejerce en la mitad de la lactancia, se afecta la persistencia de la producción o curva de lactación. Cuando el estrés de calor afecta la vaca hacia el final de la lactancia y durante el período de seca, se resiente la acumulación de reservas corporales, esenciales para soportar la producción de leche en la siguiente lactancia (Flamenbaum, 2010a).

El estrés de calor repercute también en la gestación, en especial durante el último trimestre, afectando el desarrollo del feto y de la masa placentaria, y limitando el desarrollo de la glándula mamaria e indirectamente, la lactancia subsiguiente (Flamenbaum, 2010a). La pérdida anual de leche debido a la influencia del estrés de calor que se presenta en el verano, en promedio es de 500 kilos por vaca, siendo un efecto dramático para la ganadería lechera (Flamenbaum, 2008).

La composición de la leche también sufre los efectos de las altas temperaturas; el estrés de calor afecta principalmente los contenidos de la grasa y proteína, y en menor grado, lactosa, calcio y potasio (Valtorta, 2003; Flamenbaum, 2008).

3. Efectos en la reproducción.

Cuando el ganado vacuno lechero se encuentra sometido a situaciones de estrés de calor, disminuye significativamente su eficiencia reproductiva; es común encontrar muchas vacas que, sometidas a condiciones de estrés, no muestran los signos más comunes de celo o presentan dificultades para quedar preñadas (Jimeno *et al.*, 1998). Uno de los parámetros reproductivos más adecuados para evaluar la eficiencia reproductiva del establo es el porcentaje de preñez, el cual puede ser afectado por la alteración de cualquiera de sus componentes: La tasa de detección de celo y la tasa de concepción (Aréchiga y Hansen, 2003).

Durante el estrés de calor, la conducta reproductiva de la vaca se altera, debido a que el gasto energético es mayor y las vacas evitan realizar mayores movimientos, por lo que no tienen ganas de montarse unas a otras, de ahí que el celo suele ser más corto, reduciéndose a 12-13 horas, esto significa 5-6 horas menos y a su vez se presenta con menor intensidad (Jiménez, 2005). El balance energético negativo (BEN) que se presenta en las vacas de alta producción y recién paridas, origina una moderada hipoglucemia, lo que aumenta la concentración circulante

de la hormona liberadora de corticotropina, que a su vez estimula la liberación de ACTH y endorfina, y reduce la concentración de GnRH, afectándose negativamente la pulsabilidad de la secreción de LH, y por lo tanto el reinicio de la ciclicidad ovárica y la presentación del estro (Figura 6); este efecto se incrementa durante el estrés de calor debido a la disminución del consumo de materia seca (Echevarría *et al.*, 2002).

Por otro lado, una vaca no refrigerada puede caer en verano hasta más del 50% en la tasa de concepción con respecto al invierno; esta caída puede deberse a problemas en la ovulación y una temperatura uterina elevada que causa una mayor mortalidad embrionaria temprana. Además de estos parámetros, se incrementa el intervalo entre partos, lo que reduce la eficiencia económica de la producción, a la vez que crea una estacionalidad indeseable en el abastecimiento de leche al mercado (Echevarría *et al.*, 2002; Flamenbaum, 2008).

El estrés de calor afecta la ovulación y el desarrollo folicular, incluyendo el reclutamiento, la selección y la dominancia folicular que finalmente resultan en un oocito de baja calidad. Es común que se dañe el óvulo durante el estrés de calor no solamente cuando se va a producir la ovulación sino también se puede producir alteración en los folículos en formación. El cambio en el flujo sanguíneo produce un menor volumen de sangre, comprometiendo la llegada de hormonas al útero y al ovario, y menor cantidad de fluido folicular; además disminuye la concentración de la hormona 17β estradiol en el fluido de los folículos ováricos de la primera onda folicular, reduciendo la dominancia del folículo ovulatorio (Figura 6). Cuando el estrés de calor se produce en el primer día del ciclo estral se incrementan los folículos mayores a 10 mm. de diámetro y genera el surgimiento temprano del folículo dominante de la segunda onda folicular, lo que sugiere que el folículo de la primera onda folicular pierde dominancia (Aréchiga y Hansen, 2003; St. Pierre *et al.*, 2003).

La fertilización también se ve afectada por el estrés de calor, posiblemente por daños sobre el oocito, en particular en la zona pelúcida, no pudiendo ser fertilizado y aún siendo fertilizado se muere antes de llegar al útero (Sartori *et al.*, 2002). Durante las primeras 12 horas de maduración del oocito, se ve afectado su crecimiento, debido a que las células del *cumulus* que protegen al oocito proveen cierta protección térmica mediada por la producción de la *Hsp70*, desde el estadio de desarrollo de 2 células, además de la presencia de algunos mecanismos antioxidantes que posiblemente actúen a nivel de las células embrionarias, retardándose el desarrollo hacia blastocisto (Aréchiga y Hansen, 2003; Edwards *et al.*, 2009).

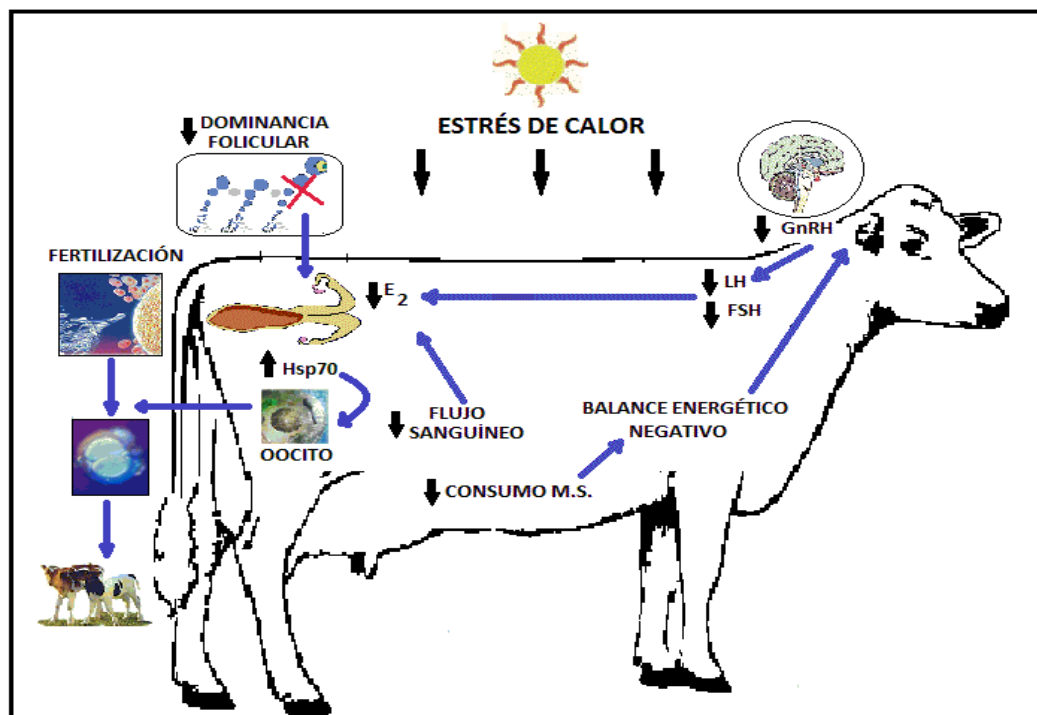


Figura 6: Efecto del estrés de calor en la reproducción: Elaboración propia.

Por otro lado, diversos autores han reportado que el estrés de calor reduce la supervivencia y el desarrollo del embrión en el día 1 después del estro, pero es menos susceptible cuando el estrés se ejerció los días 3, 5 ó 7, después del estro, lo que sugeriría que los embriones adquieren una resistencia térmica conforme avanzan en su desarrollo. De cualquier manera, un estrés calórico severo puede comprometer el desarrollo embrionario y la gestación en estadios más avanzados de desarrollo del embrión (Aréchiga y Hansen, 2003).

Las altas temperaturas también influyen directamente sobre el endometrio uterino induciendo la expresión de las proteínas de shock térmico *Hsp70* y *Hsp90*, afectando la respuesta endometrial hacia la progesterona, hormona responsable de la gestación, debido a que ambas proteínas son componentes del complejo de receptores de la hormona progesterona; al afectarse el volumen sanguíneo hacia el útero, también se compromete el flujo de nutrientes y hormonas hacia el tracto reproductivo. También se puede afectar la señal embrionaria del reconocimiento materno de la gestación reduciéndose la secreción del interferón- τ ; además la presencia del estrés de calor incrementa la secreción de prostaglandinas $F_2\alpha$ y E_2 , que van a afectar el desarrollo de cuerpo lúteo y comprometer el desarrollo de la gestación (Aréchiga y Hansen, 2003).

El crecimiento fetal también se ve comprometido, el 60 % ocurre durante el último tercio de la gestación que coincide con el mayor desarrollo mamario. La reducción considerable del flujo sanguíneo del útero hacia las zonas periféricas para promover la pérdida de calor, produce una disminución en el crecimiento fetal al final de la gestación, afectándose también la funcionalidad de la placenta y la función endocrina, resultando un ternero con menor peso al nacimiento; debido a las alteraciones hormonales se afecta también el desarrollo mamario, la lactogénesis y producción de leche en la siguiente lactación (Jiménez, 2005).

Los períodos prolongados de anestro postparto por efectos del estrés de calor afectan negativamente la eficiencia reproductiva del ganado, produciendo efectos adversos en el restablecimiento de la ciclicidad estral durante el postparto; sin embargo, el aumento en las concentraciones circulantes de prostaglandinas es beneficioso para la involución uterina. Algunos factores ambientales responsables de causar el estrés de calor en la vaca, contribuyen a una marcada infertilidad después del día 90 postparto, generando pérdidas económicas considerables (Aréchiga y Hansen, 2003).

A pesar de los programas de inseminación artificial a tiempo fijo para eliminar la falla por detección de celo en condiciones de estrés de calor, la tasa de concepción no ha mejorado todavía; por otro lado, se ha observado que la transferencia de embriones puede mejorar esta tasa de concepción, debido a que no se considera el tiempo de maduración, fertilización y desarrollo temprano del embrión, el cual representa una etapa crítica en el crecimiento embrionario (Jordan, 2003; Vasconcelos *et al.*, 2010); sin embargo los costos todavía son muy elevados para la realización de esta técnica en nuestra realidad.

4. Efectos en la sanidad.

La presencia del estrés de calor en el verano enmarca un cuadro crónico en el cual va a hacer que la vaca no responda inmunitariamente de la misma manera que en otras estaciones, por lo tanto las bacterias encuentran todas las condiciones a su favor para proliferar (Castro, 2009). Algunos estudios han demostrado que la producción de células sanguíneas mononucleares periféricas se reduce cuando las vacas están expuestas a estrés de calor (Lacetera *et al.*, 2006).

Mastitis.

La incidencia de infecciones en la ubre y la frecuencia de mastitis se incrementan durante el estrés de calor, debido a que los mecanismos de defensa de la ubre llegan a ser deficientes (St. Pierre *et al.*, 2003).

La presencia de mastitis clínica y subclínica causan lesiones en las células secretoras, reduciendo la síntesis de lactosa, grasa y proteína en la leche. Al presentarse una infección por mastitis clínica o subclínica, se incrementa la permeabilidad de la membrana celular, permitiendo el escape de componentes sanguíneos hacia la leche, de tal manera que llega a reducir el volumen y la calidad (Ruegg, 2001).

El calor del verano va a propiciar el incremento de bacterias coliformes y estreptococos, en especial en los corrales, en las zonas donde se recuestan las vacas a descansar (Olde Riekerink *et al.*, 2007). Una mala ubicación y dimensión de las sombras, provocan ambientes reducidos para las vacas, agravado por el pisoteo, la orina, la materia fecal y la poca radiación solar, las bacterias encontrarán un medio muy propicio para su crecimiento y generar infecciones mamarias. Esta combinación de cosas implica un gran riesgo a contraer una mastitis y que muy pocas veces son prevenidos o tenidos en cuenta (Castro, 2009).

Debido al estrés de calor también se produce un aumento en el conteo de células somáticas (CCS) produciendo una significativa disminución de la calidad higiénica de la leche (Flamenbaum, 2010a). El CCS es importante para el productor lechero debido a la estrecha relación entre la presencia de mastitis subclínica y la producción de leche. El incremento de cada 50000 células/ml. en la leche, resulta en la pérdida de 0.4-0.6 kg de leche por día en vacas primíparas y multíparas respectivamente (Ruegg, 2001).

Acidosis ruminal.

Las altas temperaturas ambientales van a provocar un intenso jadeo, disminución de la rumia y de la ingesta de alimento, produciendo la pérdida de dióxido de carbono (CO_2) hacia el exterior, y primordialmente la pérdida de saliva y la disminución de bicarbonatos (HCO_3^-) presentes en ella, siendo la principal fuente buffer del organismo de la vaca; el bicarbonato salival en lugar de ir al rumen para contrarrestar los ácidos producidos por la digestión, se pierde al ambiente con el excesivo jadeo, generando acidosis ruminal, como se puede observar en la figura 7 (Oberto *et al.*, 2006).

La alcalosis respiratoria y las altas pérdidas de dióxido de carbono, hacen que las vacas intenten compensar esta situación con la eliminación de bicarbonatos a través de la orina, resultando como consecuencia un rumen con mayor posibilidad de presentar acidosis. Debido a este problema, el pH ruminal disminuye a 6 ó menos, y las bacterias ruminales encargadas de fermentar la fibra se reducen, alterando la proporción de ácidos grasos volátiles, y resultando en

una menor producción de leche y un menor contenido de grasa en ella (Jiménez, 2005; Oberto *et al.*, 2006).

Otra consecuencia de la acidosis ruminal es el riesgo de producirse laminitis y reblandecimiento del corion laminar de la pezuña, lo incrementa la presencia de cojeras. La mayor incidencia de cojeras también se debe a que las vacas están mucho más tiempo de pie, evitando realizar mayores movimientos; durante el verano las vacas incrementan aproximadamente 3 horas por día el tiempo que se mantienen de pie con respecto a otras estaciones (Jiménez, 2005; Cook *et al.*, 2007).

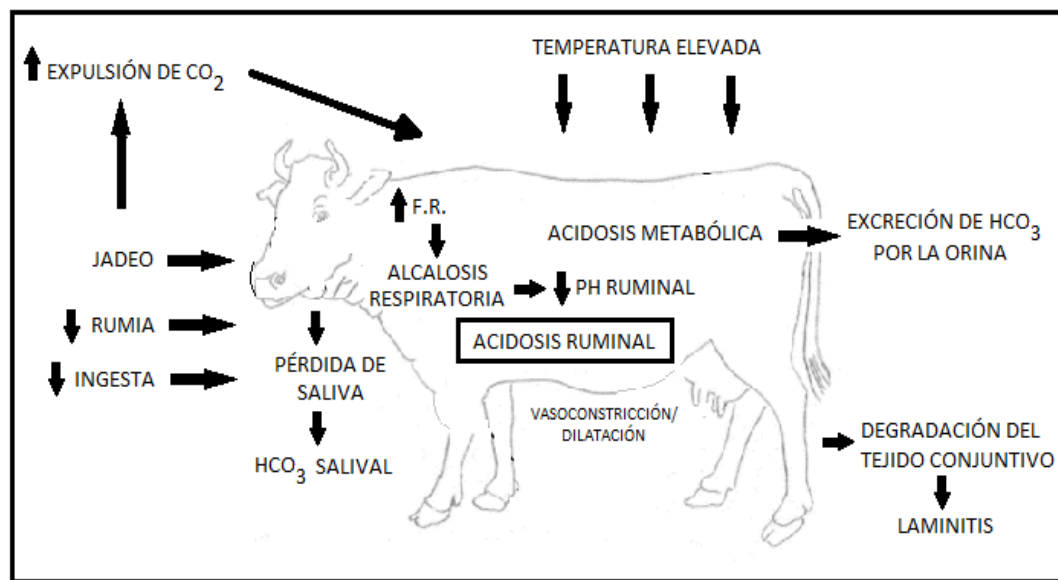


Figura 7: Acidosis ruminal por efecto del estrés de calor. Elaboración propia.

5. Efectos en la recría.

Las vaquillas generan menos calor metabólico que las vacas adultas y tienen la capacidad de disiparlo de mejor manera, debido a que no realizan mayor gasto de energía por no tener ninguna lactancia; sin embargo, se ha demostrado que el estrés de calor puede influir en el crecimiento corporal, debido a un pobre apetito durante el día, y la reducción de la inmunidad debido a la mala calidad del calostro que se presenta durante esta época (West, 2003a).

Las terneras lactantes y destetadas no son tan susceptibles al estrés por calor, ya que en su organismo no existe un incremento térmico tan elevado, puesto que su metabolismo es menor; sin embargo, los efectos adversos que pudieran presentarse, están relacionados con una disminución en la tasa de crecimiento, la cual puede verse relacionada directamente con el inicio de la pubertad (Aréchiga y Hansen, 2003; Jiménez, 2005).

2.3. ESTRATEGIAS PARA REDUCIR EL ESTRÉS DE CALOR.

Las estrategias para reducir el estrés de calor deben estar orientadas a intentar incrementar la pérdida de calor por parte de la vaca; se debe actuar sobre los factores ambientales involucrados en el estrés de calor: la radiación solar, la velocidad del viento, la temperatura del aire y la HR (Jiménez, 2005).

Antes de considerar alguna tecnología para reducir el estrés de calor, se debe tomar en cuenta los siguientes puntos, ya que no se lograrán resultados adecuados si no se tienen las estrategias mínimas de manejo para cualquier establo:

1. Sombras en los corrales.

Las sombras en los corrales siempre deben ser el primer paso en cualquier instalación para ganado lechero, de manera que pueda evitar el ingreso de la radiación solar, así como aliviar la carga de calor y el incremento de la temperatura corporal (Brouk, 2005; Berman, 2008). Se ha calculado que el uso de sombras adecuadamente diseñadas en los corrales podría disminuir en un 30 a 50% la carga de calor en el ganado (West, 2003a). La utilización de mayores áreas de sombras en los corrales, bajo los comederos y bebederos (Anexo 3 y 4), está relacionada con el comportamiento de la vaca, por el tiempo que pasa dentro de éstas, reduciendo la frecuencia respiratoria y el consumo de agua en los bebederos (Schütz *et al.*, 2010).

El área de sombra para las vacas lecheras deberá ser de 4-7 m² por vaca, si hay menos de 4 m² por vaca se corre el riesgo que las vacas estén hacinadas incrementándose el estrés (Jiménez, 2005); las demás dimensiones las observamos en el cuadro 4. Pueden ser naturales o artificiales; en los climas cálidos lo más recomendable son los árboles, es lo más práctico ya que se combina la protección del sol con el efecto de disminución de la radiación creada por la humedad evaporada de las hojas frescas. En los establos de sistema estabulado se utilizan mallas de polipropileno (malla raschel o arpillera), de color blanco para no captar el calor de los rayos solares y con un grado de penetración de la radiación solar no menor a 80% (Valtorta, 2003; Jiménez, 2005).

El uso de técnicas como los echaderos individuales (free-stall), ayudan a dispersar el calor, siempre y cuando estén acompañados de ventiladores (Anexo 5); sin embargo estas técnicas no son suficientes para eliminar el estrés de calor; una buena forma de eliminar calor sería que la vaca esté recostada en el suelo, pero en esta época la mayoría prefiere permanecer de pie para no generar más calor (De Palo *et al.*, 2006).

SISTEMA INTENSIVO					
	Vacas Producción	Vaquillonas	Vaquillas 10-15 meses	Vaquillas 6-10 meses	Terneras 3-6 meses
Área/animal (m2)	45 - 50	25 - 35	20 - 30	7 - 10	4 - 5
Nº Animales/corral	20 - 25	20 - 25	20 - 25	20 - 25	15 - 20
Sombra/animal (m2)	7	5	4.5	2 - 3	1.5 - 2
Altura muro o postes (m)	1.3 - 1.6	1.2 - 1.5	1.2 - 1.5	1 - 1.2	0.8 - 1
SISTEMA SEMI INTENSIVO					
Área/animal (m2)	15 - 20	12 - 17	10 - 15	5 - 7	4
Nº Animales/corral	30 - 50	30 - 50	25 - 30	25 - 30	20 - 25
Sombra/animal (m2)	4	3.5	3	2.5	0.5 - 1
Altura muro o postes (m)	1.3 - 1.6	1.2 - 1.5	1.2 - 1.5	1.1 - 1.3	1 - 1.1

Cuadro 4: Dimensiones de las sombras. Elaboración propia.

2. Cambios en la dieta diaria.

Todo cambio en la alimentación es aconsejable que se realice antes de que llegue el calor, ya que la vaca necesita un período de adaptación, aunque esta capacidad de adaptarse se va a ver reducida cuando llegue el calor (Jiménez, 2005).

Cambio en el horario de alimentación.

Alimentar a las vacas más temprano o más tarde de lo normal es una técnica muy utilizada ya que el mayor incremento de temperatura corporal lo tendrán en horas en las que no haga mucho calor (Mader y Davis, 2004; Jiménez, 2005). El calor de fermentación producido por la alimentación ocurriría en horarios más frescos, evitándose éste durante el momento de más calor durante el día; sin embargo, no ofrece mayor ventaja sobre la pérdida de producción de leche (Ominski *et al.*, 2002).

Uso de dietas frescas.

El concepto de dietas frescas radica en la utilización de fuentes de rápida fermentación en el rumen para generar menos calor endógeno (fermentación) y contrarrestar la disminución del consumo de materia seca que experimentan las vacas bajo los efectos del calor, concentrando la densidad energética de la dieta para poder cubrir los requerimientos del animal (Oberto *et al.*, 2006).

La reducción del aporte de forraje en la ración tiene un efecto positivo sobre la producción de calor corporal de dos maneras: menor calor de fermentación y mayor eficiencia

metabólica de los productos finales de la digestión (Martínez, 2006). Hay que contar con que las vacas van a comer menos cantidad de materia seca por lo que sería conveniente incorporar más nutrientes por kg de materia seca (Jiménez, 2005).

Teniendo en cuenta que los ácidos grasos volátiles proveen el mayor aporte de energía a la vaca, cualquier modificación en sus proporciones tendrá un considerable efecto sobre la producción de calor. Una concentración mayor de la ración altera la función ruminal de los ácidos grasos volátiles reduciendo el porcentaje de acetato y aumentando el de propionato, cuya eficiencia metabólica de utilización es mayor y por tanto, la digestión es más rápida y la carga térmica del organismo es menor (Martínez, 2006).

El manejo de los forrajes también es importante para el control del estrés de calor; al aumentar la cantidad de almidones, azúcares de rápida degradación en el rumen, para aumentar la densidad energética de la dieta y contrarrestar la caída del consumo de materia seca, se puede producir con facilidad una acidosis ruminal, y entonces, en vez de una solución creamos otro problema. Por lo tanto, en estas dietas, no se deben dar forrajes o alimentos de baja calidad con mucho tiempo de fermentación en el rumen y que incrementen el calor endógeno (Oberto *et al.*, 2006). Un efecto positivo añadido de la reducción del contenido fibroso de las raciones durante el estrés por calor es que se reduce la pérdida fecal de agua (Martínez, 2006).

Uso de grasas sobrepasantes.

La incorporación de grasas sobrepasantes a las raciones de las vacas en producción tiene una doble ventaja: por un lado reduce el incremento térmico al producir mayor eficiencia de utilización y disminuir el calor de fermentación, y por otro lado permite aumentar la ingesta de energía sin incremento del consumo de materia seca y sin riesgo de producirse una acidosis ruminal (Martínez, 2006; Oberto *et al.*, 2006).

Se debe tener cuidado con el manejo de las grasas sobrepasantes, ya que pueden deprimir el consumo de materia seca, con lo cual se agravaría este problema. Su uso debe ser considerado durante todo el año en las vacas de alta producción (Oberto *et al.*, 2006). Se puede utilizar entre 5 a 10% de grasa suplementada en la dieta diaria; es importante que la utilización de grasas sobrepasantes respete los porcentajes de incorporación en la dieta, según la fuente y grado de saturación de las mismas (Knapp y Grummer, 1991; Martínez, 2006).

Uso de proteína.

Durante el estrés de calor el incremento del porcentaje de proteína en la ración de las vacas en producción por encima de las necesidades estimadas, produce una elevación en la producción de leche; sin embargo, un exceso de proteína en ciertas circunstancias puede ser contraproducente, debido a que la síntesis y excreción de la urea procedente del amoníaco absorbido en exceso a nivel ruminal, reduce la energía neta disponible para la producción de leche, aumentando el calor corporal y contribuyendo de esta forma al estrés de calor (Martínez, 2006).

Si las vacas son mantenidas en ambientes frescos o refrigerados artificialmente, no es necesario que la proteína cruda supere el 16% de materia seca en la ración diaria, con una rango que oscile entre 15.3 a 16.5% y con una degradabilidad que puede alcanzar hasta un 65% (Arielli *et al.*, 2004; Martínez, 2006).

Uso de minerales y equilibrio ácido-base.

El incremento de la concentración de fósforo en 0.33 % a 0.65 % tiene un ligero efecto positivo sobre la ingesta en verano con respecto al invierno, en tanto que no existe ningún efecto sobre la producción. El incremento del aporte de sodio en 0.1 % a 1.2 % tiene un efecto sobre el consumo y la producción. La concentración de potasio tiene un efecto positivo no significativo sobre el consumo en 0.66 % a 1.96 %, más marcado en verano, pero no hay un efecto significativo sobre la producción de leche. El incremento de cloro de 0.15 % a 1.62 % tiene un efecto negativo sobre el consumo y la producción, que es más marcado en verano. La respuesta positiva al aumento de la concentración de calcio de 0.5 % a 1.34 % es mayor en verano que en invierno. El aumento de la concentración de magnesio en 0.2% a 0.62 % tiene un efecto positivo en verano tanto para el consumo como para la producción, con un valor óptimo alrededor de 0.35 % (Martínez, 2006).

En el caso del potasio, sodio y cloro hay que distinguir el efecto debido a la relación entre ellos expresada como diferencia catión-anión dietético ($DCAD = (K+Na)-(S+Cl)$) de la ración. El aumento de la DCAD de la ración tiene un efecto positivo sobre el consumo de materia seca y la producción de leche diferente en invierno y verano. La DCAD óptima en verano se sitúa en torno a ± 40 meq./100 g de materia seca, siendo el efecto más importante en vacas al comienzo y mitad de la lactación (Martínez, 2006).

Los aportes de potasio y sodio pueden aumentarse por incorporación de cloruro potásico o sódico (sales neutras). Para la modificación de la DCAD es preciso utilizar ambos cationes en

forma de bicarbonatos; estos compuestos tienen además un efecto alcalinizante a nivel ruminal. Los aportes de fósforo y calcio deben hacerse en forma de fosfato bicálcico y carbonato cálcico, el magnesio se puede aportar como óxido, que también es alcalinizante ruminal aunque sin efecto sobre la DCAD (Martínez, 2006).

Uso de aditivos.

Es muy importante reducir el riesgo de acidosis ruminal y para ello puede ser útil el uso de bicarbonato en la ración. El uso de electrolitos extra como sodio y potasio también pueden ser de ayuda, ya que la vaca va a perder gran cantidad de electrolitos de este tipo (Jiménez, 2005).

La adición de levaduras vivas en la ración durante la época de calor incrementa la eficiencia alimenticia y el consumo de alimento. El metabolismo final de las levaduras es usado por las bacterias ruminales, promoviendo un ambiente anaerobio, creando adecuadas condiciones para su multiplicación y desarrollo, y generando un incremento en la digestión de nutrientes, en especial mayor proporción de ácidos grasos volátiles (AGV) producidos en el rumen y reducción del amonio ruminal, por lo tanto mayor utilización de la proteína. Sin embargo, la producción de leche y el consumo de materia seca no se afectan significativamente, no siendo una completa solución al problema del estrés de calor (Schingoethe *et al.*, 2004; Moallem *et al.*, 2009; Shwartz *et al.*, 2009).

La administración de somatotropina bovina recombinante (RbST), incrementa la producción de leche, logrando un mayor pico de lactación y una mayor persistencia durante la lactación. Las vacas altas productoras son más susceptibles al estrés de calor, por lo que el uso de esta hormona incrementa la producción en las vacas tratadas, aunque sufren mayores efectos que las no tratadas (Settivari *et al.*, 2007).

La niacina ha sido muy utilizada porque a dosis elevadas (6 a 12 g/día) produce vasodilatación periférica lo que facilita la eliminación de calor por vaporización desde la piel reduciendo la temperatura superficial, también tiene efecto anticetótico y antilipolítico, mejora el balance energético al comienzo de la lactación y actúa estimulando la síntesis de proteína microbiana. Sin embargo, el efecto directo de la suplementación con niacina sobre la tolerancia al estrés por calor no se ha podido demostrar de forma definitiva (Martínez, 2006).

3. Consumo de agua.

El aporte de agua durante el estrés por calor es de importancia crítica porque cubre dos propósitos: sirve como vehículo para disipar calor mediante mecanismos de termorregulación como la sudoración y el jadeo, y es el principal componente de la leche. Una vaca consume agua aproximadamente 4 veces su producción de leche; es decir, un consumo de más de 100 litros al día de agua, estos volúmenes se incrementan en condiciones adversas de altas temperaturas (Beede, 1992; Jiménez, 2005).

El consumo de agua es beneficioso además por otros motivos: el mayor contenido de agua del rumen acelera su vaciado, lo que reduce el efecto de llenado debido a la menor velocidad de tránsito durante el estrés por calor; por otro lado el agua consumida contribuye al enfriamiento corporal total (Martínez, 2006).

Una instalación correcta en lo que a bebederos se refiere es aquella en la que el 10-15 % de las vacas son capaces de beber a la vez, hay que contar con 10-12 centímetros de superficie lineal por vaca bajo condiciones de estabulación. La ubicación correcta es en el pasillo contrario al de los comederos o en las zonas de paso entre los pasillos, se debe tener en cuenta que la vaca no debe caminar más de 15 metros para llegar al bebedero. Además, las vacas salen del ordeño sedientas por la alta producción de leche y es recomendable colocar un bebedero a la salida de la sala de ordeño, en especial cuando la distancia hasta los corrales es muy larga (Jiménez, 2005).

Por otro lado, la calidad del agua también es un factor a tener en consideración ya que un contenido muy elevado de sulfato de cloro (más de 1000 ppm) agrava el desequilibrio ácido-básico que ocurre durante el estrés por calor (Martínez, 2006).

4. Manejo de la vaca en seca.

El estrés de calor afecta críticamente a las vacas en lactación, reduciendo su producción de leche significativamente, lo que ha promovido que los establos se esfuercen en mejorar las condiciones durante esta etapa; sin embargo, poco se conoce y se ha hecho durante la etapa de seca. Las vacas en seca, con buenas condiciones de alimentación y refrigeración durante el verano, mejoran su salud y rendimiento de producción en la siguiente lactación. Este efecto se debe a la acción de la hormona prolactina (PRL), que ejerce efecto sobre la diferenciación y crecimiento de las células mamarias, además que cumple una función inmune ya que promueve la secreción de inmunoglobulinas en el calostro (Do Amaral *et al.*, 2009, 2011).

5. Selección genética.

Existen muchos aspectos genéticos que influyen en la respuesta al estrés de calor; el mantenimiento de la temperatura corporal es heredable, a través de varias características como la capacidad de sudor, la resistencia tisular, el color y grosor de la piel; sin embargo, la capacidad de termorregulación de la vaca va acompañada por una reducción en la energía metabolizable (West, 2003a).

Se han realizado estudios que evidencian que el color del pelo y de la piel influye en la capacidad de la vaca de absorber la radiación solar; en el ganado con capa oscura, el calor transferido hacia la piel y la temperatura corporal son mayores, y la ganancia de peso menor, con respecto al ganado de capa blanca (West, 2003a).

La correlación genética entre producción y tolerancia al calor es de -0.3, es decir, una continua selección por producción reduciría la tolerancia al calor; sin embargo, se puede lograr una combinación entre ambas características (Ravagnolo y Misztal, 2000). Bohmanova *et al.* (2008), indicaron que existe una interacción significativa entre el genotipo y el medio ambiente, lo cual serviría para obtener un modelo estadístico que permita seleccionar los toros en base a la tolerancia para el estrés de calor. Las hijas de toros con alta genética para la tolerancia al calor tienen bajos valores en producción de leche, pero altos contenidos de sólidos en leche, mayor capacidad corporal, mejores patas, vida productiva más prolongada y alta tasa de preñez (Aguilar *et al.*, 2009).

Se han identificado pocos genes específicos que controlen la tolerancia al calor, entre ellos está el gen de la longitud del pelo (en inglés “slick hair gene”), mapeado en el cromosoma 20. Los animales que tienen el alelo dominante presentan el pelo corto y brillante, y tienen la capacidad de soportar más las condiciones de estrés de calor. La habilidad regulatoria asociada con este gen, resulta de una mayor pérdida de calor por convección y conducción, y la disminución de la absorción de la radiación solar (Dikmen *et al.*, 2008).

Existen varios trabajos acerca de componentes genéticos que tengan relación con los días abiertos y la tasa de no retorno bajo condiciones de estrés de calor, que todavía están en investigación; sin embargo, está claro que la identificación de estos genes responsables de la resistencia al estrés de calor, permitirá que puedan ser transferidos a otras generaciones en el futuro y reducir este problema mediante el mejoramiento genético (Ravagnolo y Misztal, 2002; Oseni *et al.*, 2004).

2.4. SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO UTILIZADOS EN EL MUNDO.

Una vez que se ha trabajado adecuadamente las estrategias anteriormente revisadas, en las instalaciones estabuladas, para minimizar los efectos del calor, se debe buscar la implementación de sistemas de enfriamiento, de manera que se pueda proteger a las vacas de la radiación solar indirecta, reduciendo la temperatura ambiente y aumentando la velocidad del aire y la evaporación de la superficie de la vaca.

El enfriamiento intensivo a las vacas, durante el verano es una técnica muy utilizada que tiene el potencial de incrementar la producción anual de las vacas en aproximadamente 10% por encima de los niveles obtenidos con vacas no enfriadas (Flamenbaum y Ezra, 2006; Flamenbaum, 2010b).

En diferentes partes del mundo se han diseñado tecnologías aplicadas a este campo; dependiendo de la forma de enfriamiento se dividen en dos tipos:

Enfriamiento Directo: Enfriando al animal:

- Enfriamiento por evaporación o mojado.
- Ventilación forzada.
- Combinación de mojado con ventilación forzada

Enfriamiento Indirecto: Enfriando el medio ambiente:

- Nebulización
- Túnel de ventilación o tunnel cooling
- Ventilación cruzada de bajo perfil o Low Profile Cross Ventilated (LPCV)

La diferencia entre estos grupos es que el enfriamiento indirecto es efectivo sólo en climas secos; por otro lado, el enfriamiento directo se puede aplicar en todo tipo de clima.

1. Enfriamiento por evaporación.

Consiste en la realización de un remojo del ganado, seguido de una evaporación del agua en la superficie de la piel. Viene a ser una técnica muy eficiente para eliminar el calor del ganado; sin embargo, es muy probable que la temperatura ambiental exceda a la del cuerpo de la vaca, provocando un incremento de la humedad (Brouk, 2005).

El enfriamiento por evaporación se ha utilizado con mucho éxito para enfriar vacas en climas cálidos y áridos, mejorando el potencial para reducir la temperatura ambiental y el ITH; sin embargo, a medida que aumenta la humedad relativa o disminuye la temperatura, la eficacia de enfriamiento por evaporación disminuye (Brouk, 2005). Cuando se trabaja en zonas donde la humedad del aire es elevada, debe tenerse en consideración que todo sistema que introduzca agua al ambiente puede resultar contraproducente porque esa agua, al evaporarse, contribuirá a aumentar la humedad atmosférica (Valtorta, 2003).

La evaporación forzada no modifica las condiciones ambientales, pero reduce el estrés de calor mediante la extracción de calor desde la superficie del cuerpo. La vasodilatación periférica del organismo del animal mantiene un flujo constante de calor hacia la piel que dura dependiendo de cuanto tiempo persista la hipertermia. El calor que llega a la piel es eliminado por evaporación hacia el medio ambiente. La restauración de la temperatura corporal depende de la velocidad en la conducta del organismo para llegar a una vasoconstricción periférica (Berman, 2010).

2. Ventilación forzada.

El movimiento del aire es un factor importante en la disminución del estrés de calor, ya que incrementa la pérdida de calor por convección y, dependiendo del contenido de humedad del aire, la pérdida de calor por evaporación (Valtorta, 2003; Berman, 2009).

Siempre que sea posible debe haber una ventilación natural de las instalaciones, esto es, que el aire frío que ingresa sea capaz de llevarse el aire caliente (“efecto chimenea”), en muchos casos no es suficiente y hay que disponer de ventilación forzada, ya sea por ventiladores o por túnel de ventilación. Para que se produzca una buena tasa de intercambio de aire se necesita que el aire vaya a 2-3 metros/segundo, el caudal de aire promedio que se necesita por vaca es de 800 m³/hora (Jiménez, 2005).

La función de la ventilación es extraer todo el calor que la vaca tiene acumulado en la piel a través de los pelos; el calor corporal es transferido hacia el aire frío y removido continuamente por el aire en movimiento, siempre y cuando la temperatura ambiental sea menor que la del cuerpo (Jiménez, 2005; Mader *et al.*, 2006; Berman, 2009).

Los ventiladores más recomendados suelen tener un diámetro de entre 80 y 140 centímetros, deben ser colocados encima de la línea de comederos a unos 2,75-3 metros de altura y con una inclinación de 30° con respecto al suelo, un ventilador debe apuntar justo

debajo del siguiente. Se debe tener en cuenta que mientras mayor sea el tiempo de enfriamiento a las vacas mejores van a ser los resultados finales (Jiménez, 2005; Ortiz *et al.*, 2010).

3. Mojado y ventilación forzada.

El objetivo de este sistema es enfriar a las vacas mediante la combinación de humedecimiento y ventilación forzada que se aplica en lugares abiertos como el área de espera a la entrada de la sala de ordeño, antes o entre cada ordeño, y en el comedero cuando regresan las vacas al corral (Flamenbaum, 2009)

El proceso de este sistema se asemeja a cuando una persona se sumerge en una piscina y al salir, si hay corriente de aire, habrá experimentado una baja de temperatura rápidamente, ya que el remanente de agua sobre el cuerpo se habrá empezado a evaporar, esto es lo que le pasa a las vacas en estos sistemas (Oberto *et al.*, 2006). Esta técnica ha tenido un impacto dramático sobre la tasa de intercambio de calor por evaporación en la piel de las vacas lecheras. La pérdida de calor es 2 a 8 veces más potente que otras técnicas, como la utilización sólo de la ventilación forzada (Brouk, 2005; Berman, 2006).

Estos sistemas son colocados en el corral de espera (Anexo 6), debido a que en esta zona es donde las vacas están bajo las condiciones más estresantes, se encuentran hacinadas y se alcanzan temperaturas que se aproximan a los 40°C y valores de HR por encima de 60% (Oberto *et al.*, 2006). En general, la metodología indica que se debe aplicar acumulativamente 6 a 8 horas del tratamiento de enfriamiento por día, divididos en ciclos de media hora repartidas cada 3-4 horas durante el día, incluyendo la noche cuando exceden los 18°C de temperatura ambiental, cada ciclo consta de secuencias de humedecimiento de 20 a 30 segundos, seguidos 3 a 5 minutos de tiempo de secado, repitiéndose constantemente y manteniendo una constante ventilación forzada con los ventiladores, como se observa en la figura 8 (Brouk, 2005; Flamenbaum, 2009).

La aplicación de 0.5 litro de agua sobre el animal puede disipar 255 Kcal. de calor; el agua debe mojar el pelo de la vaca en cada secuencia y llegar al cuero para poder realizar este efecto (Anexo 7); si el agua aplicada se presenta en forma de muy pequeñas gotas, se forma niebla, y lo que se va a lograr es impermeabilizar al animal y no permitirle que irradie el calor (Oberto *et al.*, 2006).

Conociendo la relación entre las condiciones del medio ambiente y las creadas por el sistema de mojado y ventilación forzada, se puede obtener la estimación del potencial de alivio del estrés de calor; la reducción de la temperatura dentro del sistema puede incrementar la

humedad que reduciría la capacidad de evaporación y la pérdida de calor, incrementando el jadeo en los animales (Berman, 2006).

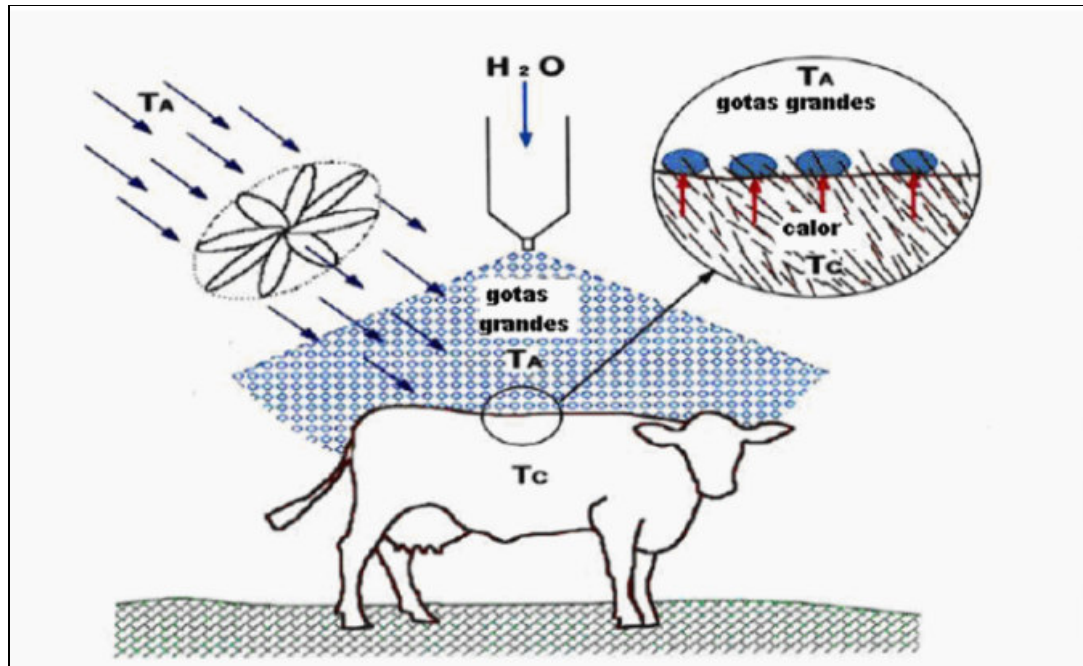


Figura 8: Funcionamiento del sistema de mojado y ventilación forzada. Fuente: Flamenbaum, 2009.

La inversión que requiere el sistema de mojado y ventilación forzada impacta inmediatamente en la producción de leche. Si se tiene en cuenta tan sólo una pérdida de la producción del 10% (en establos de mayor producción la pérdida puede llegar hasta un 30%), en un establo con 100 vacas en ordeño, con una producción promedio de 28 litros, y en un ambiente de estrés de calor con algunas horas que alcancen índices de ITH por encima de 72% (Oberto *et al.*, 2006).

El cálculo es el siguiente:

$$100 \text{ vacas} \times 2.8 \text{ litros de pérdida/vaca/día} \times 30 \text{ días} = 8,400 \text{ litros de pérdida/mes}$$

En promedio el precio de la leche es de \$ 0.40, entonces el ahorro que se obtendría sería el siguiente:

$$8,400 \text{ litros/mes} \times \$ 0.40/\text{litro} = \$ 3,360/\text{mes}.$$

Consideramos que un ventilador más sus accesorios e instalación están costando aproximadamente \$ 3,800, y para este establo se requerirían por lo menos 2. Recordemos que

también el estrés tiene un efecto residual por lo que se dice que lo que pasa en otoño se debe en un 30 % a lo que pasó en verano (Oberto *et al.*, 2006).

La eficiencia de este sistema es medido generalmente por la respuesta animal, en relación a la temperatura corporal (la medida más cercana es la temperatura rectal) y la frecuencia respiratoria, siendo los resultados más certeros y a tiempo real de lo que ocurre con la vaca (Berman, 2008).

4. Nebulización.

Consiste en provocar finísimas gotas de agua que generan una “neblina”; estas gotas, al evaporarse, producen un enfriamiento del aire. En consecuencia, se favorece la pérdida de calor por convección (Valtoria, 2003).

Se debe tener en cuenta que las gotas deben evaporarse sin llegar a humedecer a los animales y se debe favorecer la circulación del aire enfriado por medio de ventiladores. Este sistema podría ser efectivo durante los períodos de mayor temperatura, cuando el aire suele estar más seco; sin embargo, no es aconsejable para climas húmedos ya que podría producir un 20% de aumento de la humedad relativa (Valtoria, 2003).

5. Túnel de ventilación.

El túnel de ventilación es relativamente nuevo en la industria lechera, aunque es usado más en cerdos y caballos; caracterizado por tener una entrada de aire por una lado y ventiladores por el otro; la eliminación de calor es por convección, dirigiéndolo hacia la superficie sin tener que generar humedad (Figura 9) (Smith *et al.*, 2006).

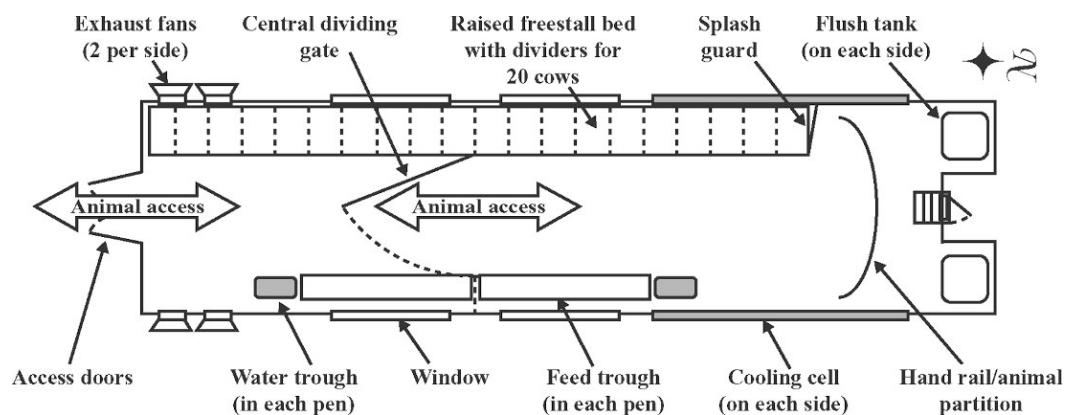


Figura 9: Túnel de ventilación. Fuente: Smith *et al.*, 2006.

6. Ventilación cruzada de bajo perfil (LPCV).

Lo más novedoso en control de ambientes en establos es la ventilación cruzada de bajo perfil o “Low profile cross ventilated” (LPCV), se trata de establos totalmente cerrados en los que se crea una zona termoneutral en invierno y en verano, la temperatura del aire es de 4,4°C a 8,3°C, más fría en verano y en invierno es de 5,5°C a 16,7°C más caliente, la HR es del 75%. En estas instalaciones se reduce el estrés ocasionado tanto por el calor como por el frío y no se produce ninguna reducción en la producción de leche (Jiménez, 2005).

2.5. PRESENCIA DEL ESTRÉS DE CALOR EN EL PERÚ.

El Perú no está fuera de este problema, durante los meses de verano (enero - marzo), en particular en los establos de la costa norte y central del país, se llegan a tener temperaturas ambientales entre 25 y 30°C, incluso en ocasiones llegando a más de 35°C; la humedad relativa de estas regiones se encuentra entre 85 a 90% durante la mayor parte del año; finalmente la precipitación pluvial anual promedio es de 26.6 a 29.2 mm. Esto significa que los establos lecheros de la costa norte y central del Perú se encontrarían en un ITH mayor a 72%; esta situación causa estrés de calor en las vacas, lo que origina un comportamiento productivo y reproductivo deficiente (Figura 10), que observamos cada año sin realizar ningún cambio al respecto (Echevarría *et al.*, 2002; Serv. Nac. Productividad, 2010),

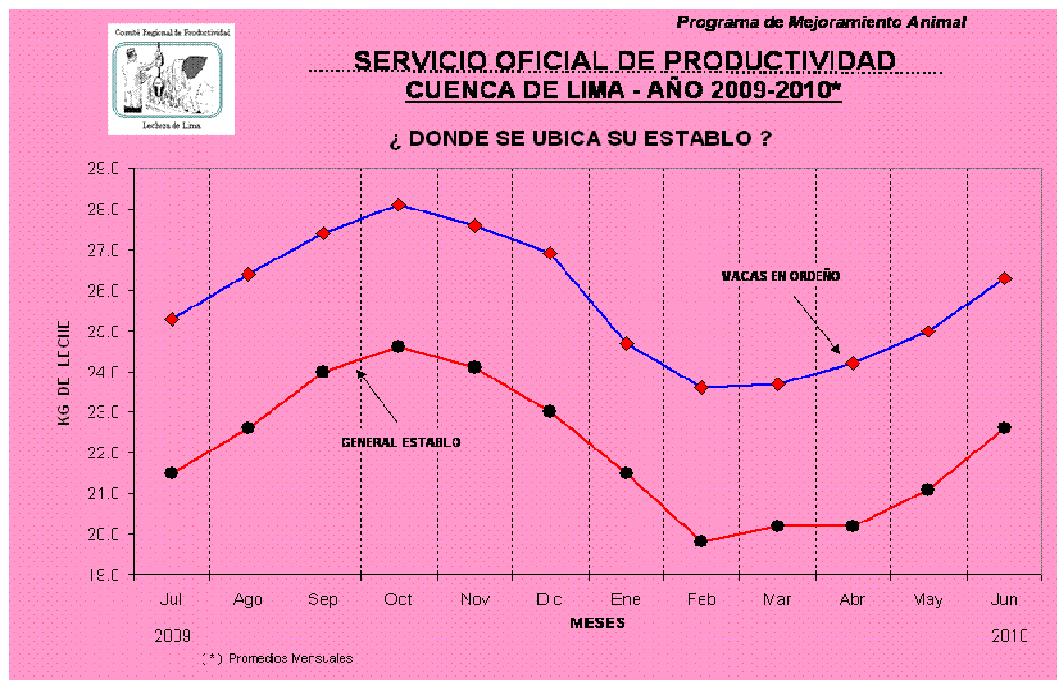


Figura 10: Promedio de producción de leche anual cuenca de Lima. Fuente: SNP, 2010.

Durante el último verano (2011), en la costa norte del Perú, las temperaturas máximas y mínimas medias oscilaron entre 33,3°C y 20,1°C, respectivamente, siendo mayores que las del año pasado, caracterizándose por zonas desérticas y con ausencia de lluvias. En la costa central, las temperaturas máximas y mínimas medias oscilaron entre 31,7°C y 18,8°C, respectivamente, siendo ambas normales para la época, y de igual manera se caracteriza por ausencia de lluvias y zonas desérticas (SENAMHI, 2011). Debido a estos datos podemos observar que el Perú tiene condiciones ambientales parecidas a otros países que sufren de estrés de calor, pudiendo realizar comparaciones con ellos, al igual que las estrategias y tecnologías utilizadas.

Se ha observado que los efectos del estrés de calor durante los meses de verano en las cuencas lecheras del norte y centro del país, afectan seriamente la producción de leche, así como la fertilidad y la expresión del celo; durante los meses calurosos del año no muestran fácilmente signos de celo y cuando lo hacen, la duración del celo es más corta, activando mecanismos de compensación instantáneamente (Ortiz *et al.*, 2009).

La implementación en forma adecuada de los sistemas de enfriamiento en el Perú tiene el potencial de incrementar en 10 % la producción anual de las vacas y la eficiencia nutricional de las mismas; además, mejora la tasa de concepción, incrementa el contenido de grasa y proteína en la leche, mejora la calidad de la leche y la salud de la ubre de las vacas durante el verano (Flamenbaum, 2011).

III. DISCUSIÓN

Las prioridades de utilización de la energía por parte de la vaca se inician en el mantenimiento de sus funciones corporales, luego en el crecimiento y finalmente, en la producción y reproducción. Una vaca en producción elimina calor principalmente por el gasto energético durante el mantenimiento corporal y la producción. Estos conceptos son muy conocidos por cualquier ganadero; sin embargo, pocos conocen las pérdidas que ocasiona la falta de aplicación.

Para poder entender lo que significa la cantidad de calor que produce la vaca, Flamenbaum (2010b) nos da una comparación interesante: un hombre en estado de descanso genera calor equivalente a un foco de 100 watts; una vaca en seca y en descanso genera calor equivalente a 9 focos de 100 watts; una vaca en producción genera además el equivalente a un foco por cada 4.5 kg de leche producida; es decir que si una vaca alta productora produce 45 kg de leche al día, generará 10 focos más los 9 en descanso; si le agregamos la radiación solar directa que genera el equivalente a 16 focos más, entonces la vaca tendrá que disipar el equivalente a 35 focos de 100 watts (Anexo 8).

La principal vía de eliminación del calor metabólico a altas temperaturas ambientales es la evaporación, como indica Jiménez (2005), y a diferencia de las otras vías, éste sí genera un gasto de energía, mediante mecanismos respiratorios (jadeo), de transpiración y de salivación, no siendo del todo funcionales, ya que sin una tecnología adecuada, estos mecanismos terminan siendo defectuosos.

Los factores ambientales que determinan la capacidad para eliminar calor son la temperatura y la humedad relativa, que repercuten en gran medida en el estrés de calor. Muchos autores (Jiménez, 2005; Oberto *et al.*, 2006; Cruz y Saravia, 2008) han propuesto utilizar el índice de temperatura y humedad (ITH), para indicar en que nivel de estrés se encuentra un

establo, sin embargo, no es muy aplicativo en la producción lechera, ya que no se puede medir la magnitud económica del estrés de calor en todos los niveles de producción, como lo haría el índice de relación verano/invierno, realizado por Flamenbaum (2007).

Durante el estrés de calor se van a observar cambios muy marcados en el comportamiento de la vaca como una disminución en la actividad general, ya que trata de no moverse mucho para no generar más calor, disminuye la rumia y el consumo de materia seca, se incrementa el consumo de agua, busca la sombra, y aumenta el jadeo; sin embargo, los principales efectos del estrés de calor se van a evidenciar en la caída del pico y la persistencia de la lactación, la disminución de la grasa y proteína en la leche y el aumento de las células somáticas; todo esto va a repercutir en un menor precio por kg de leche pagado debido a la baja calidad del producto final. A este problema le sumamos los efectos reproductivos por una baja tasa de concepción, disminución del desarrollo del feto y mayor incidencia de abortos y mortalidad embrionaria; los efectos sanitarios se incrementan por la caída inmunitaria presentándose más casos de mastitis.

En el aspecto económico, el estrés de calor ocasiona fuertes pérdidas en la ganadería lechera, principalmente porque se condicionan las ganancias obtenidas en los meses de invierno, a las pérdidas sufridas en verano, no dejando altos márgenes de ganancia en este negocio. Hoy en día, todos estos factores están agravando más la situación debido al calentamiento global que ya estamos sufriendo, y el incremento constante que tiene la vaca en su nivel productivo, esto último quiere decir que mientras más alto sea el nivel genético de la vaca, mayor sería la caída por el estrés de calor. El efecto económico negativo causado por el estrés de calor supera los efectos negativos de la mastitis y de la baja fertilidad en la producción lechera a nivel mundial, lo cual ningún autor ha analizado adecuadamente en la actualidad.

En diversos estudios se ha encontrado que el estrés de calor perjudica económicamente los establos lecheros, sin embargo no nos indican en qué magnitud; generalmente se indica un 10, 20 ó 30 %, pero no se ha logrado establecer efectivamente la pérdida total que genera, la cual debe ser mucho mayor que estos valores.

Todos estos efectos causados por el estrés de calor en establos lecheros de diferentes zonas del mundo coinciden con datos encontrados por autores en el Perú (Echevarría *et al.*, 2002; Ortiz *et al.*, 2009), por lo que se evidencia que nuestro país presenta este problema en los establos de las regiones norte y central, y es de esperarse que muchas estrategias puedan aplicarse a nuestra realidad.

Cada verano en la costa central y norte del Perú, observamos a las vacas sufrir de estrés de calor y por esta razón es conveniente estar preparados, ya que todas las inversiones que se hagan para reducir el estrés de calor van a repercutir en gran medida en el bienestar de la vaca y por tanto en la producción de leche. Son pocos los ganaderos y profesionales que han mostrado preocupación por este aspecto, al no tener la posibilidad de una tecnología adecuada o por desconocimiento del tema.

Lo primero que se debe hacer es brindar una adecuada sombra a los animales, de manera que se pueda evitar el contacto de la radiación solar directamente hacia las vacas; además debe haber suficiente área por animal en los corrales, bebederos y comederos. Es importante conocer la dirección del viento en el área donde se ubica el establo, de manera que haya siempre una ventilación natural hacia las vacas.

Una vez mejoradas las instalaciones y el manejo, los cambios en la alimentación deben centrarse en brindar suficiente forraje de alta calidad, aumentar la concentración energética con la incorporación de grasas protegidas, mejorar la calidad de las fuentes de proteína e incrementar el aporte de minerales y aditivos; además, no se debe olvidar la provisión de agua fresca en todo momento del día. Después que se han desarrollado todas estas estrategias recién se puede iniciar la implementación de alguna tecnología para reducir el estrés de calor, ya que de otra forma, ninguna de estas tecnologías serviría eficazmente, siendo un gasto en vano más que una inversión bien desarrollada.

En diferentes partes del mundo se han diseñado tecnologías aplicadas a este campo, y dependiendo de la forma de enfriamiento se dividen en aquellas que realizan el enfriamiento al animal (enfriamiento directo) y realizan enfriamiento al medio ambiente (enfriamiento indirecto). La tecnología más aplicada y según varios autores (Flamenbaum, 2009; Brouk, 2005; Berman, 2006), ha logrado mejores resultados para minimizar el estrés de calor en las vacas, es la combinación de mojado y ventilación forzada, logrando eliminar el calor mediante evaporación de agua desde la superficie de la piel; esta técnica permite mantener a las vacas en situación de normotermia durante todo el día.

La instalación de este sistema de manera sencilla y eficiente tiene el potencial de incrementar las ganancias de un establo, de manera que el costo total sea pagado por el incremento de la leche en el transcurso del primer año. El costo de operación debido a la compra y funcionamiento de los ventiladores tiene muy poca influencia en el cálculo, ya que si se duplica el número de ventiladores y la energía eléctrica, los resultados siguen siendo positivos (Flamenbaum, comunicación personal).

Actualmente esta tecnología ha sido puesta al servicio de los ganaderos en el país, de manera que se pueda dar a conocer los avances provenientes de países con características ambientales de temperatura y humedad similares, y que han logrado hacer eficiente este negocio, ya que se han logrado reducir los efectos comentados anteriormente, en especial la caída en la producción de leche (Anexo 9 y 10).

En estos días de crisis económica en el sector lácteo en el mundo y en el Perú, la adopción de estas tecnologías puede hacer la diferencia entre ganar o perder dinero en el balance a fin de año, y como consecuencia la permanencia o no dentro del negocio.

IV. CONCLUSIÓN

Según los datos recopilados, se puede concluir que en el Perú sí hay presencia de estrés de calor en el ganado vacuno de leche, en particular en establos de la costa central y norte del país; sin embargo, no se han realizado estudios ni se tienen datos fehacientes sobre los efectos que produce el estrés de calor, por lo que muy pocos ganaderos optan por tratar de minimizarlos adecuadamente. Sabemos que el problema existe y se complica desde que tenemos niveles de HR muy altos, especialmente en verano cuando la temperatura se incrementa significativamente.

V. RECOMENDACIONES

1. Al no tener mayor información acerca del estrés de calor en la costa norte y central del Perú, y siendo un tema muy importante por la pérdida que produce al ganadero lechero, es necesario realizar mayores evaluaciones de sus efectos, según las condiciones ambientales que se presentan en nuestro país.
2. Se recomienda además realizar evaluaciones acerca del impacto económico que genera el estrés de calor en los establos lecheros de la costa norte y central del país, de manera que se pueda evidenciar las pérdidas obtenidas por este problema.
3. Se debe evaluar finalmente la aplicación de las diferentes estrategias y tecnologías para minimizar los efectos del estrés de calor en los establos, y evaluar los resultados según las condiciones ambientales y de manejo que se tienen en nuestro país.

VI. LITERATURA CITADA

1. Aguilar I, Misztal I, Tsuruta S. 2009. Genetic components of heat stress for dairy cattle with multiple lactations. *J Dairy Sci.* 92 : 5702–5711.
2. Araúz EE, Fuentes A, Mendez N. 2010. Alteración diurna de la carga calórica corporal e interrelación de las temperaturas rectal y láctea en vacas cruzadas (6/8 *Bos taurus* x 2/8 *Bos indicus*), pardo suizo y holstein bajo estrés calórico diurno durante la época seca en el clima tropical húmedo. *Red Vet Argentina.* 11: 4-6.
3. Aréchiga-Flores CF, Hansen PJ. 2003. Efectos climáticos adversos en la función reproductiva de los bovinos. *Veterinaria Zacatecas.* 2: 89-107.
4. Arieli A, Adin G, Bruckental I. 2004. The effect of protein intake on performance of cows in hot environmental temperatures. *J Dairy Sci.* 87: 620-629.
5. Beatty DT, Barnes A, Taylor E, Pethick D, McCarthy M, Maloney SK. 2006. Physiological responses of *Bos taurus* and *Bos indicus* cattle to prolonged, continuous heat and humidity. *J Anim Sci.* 84: 972-985.
6. Beede DK 1992. Water for dairy cattle. Large dairy herd management. Champaign. Dairy Sci Assoc. 56: 260-271.
7. Berman A. 2005. Estimates of heat stress relief needs for Holstein dairy cows. *J Anim Sci.* 83: 1377-1384.
8. Berman A. 2006. Extending the potential of evaporative cooling for heat-stress relief. *J Dairy Sci.* 89: 3817-3825.
9. Berman A. 2008. Increasing heat stress relief produced by coupled coat wetting and forced ventilation. *J Dairy Sci.* 91: 4571–4578.
10. Berman A. 2009. Predicted limits for evaporative cooling in heat stress relief of cattle in warm. *J Anim Sci.* 87:3413-3417.
11. Berman A. 2010. Forced heat loss from body surface reduces heat flow to body surface. *J Dairy Sci.* 93: 242–248.

12. Bernabucci U, Ronchi B, Lacetera N, Nardone A. 2002. Markers of oxidative status in plasma and erythrocytes of transition dairy cows during hot season. *J Dairy Sci.* 85: 2173-2179.
13. Bohmanova J, Misztal I, Cole JB. 2007. Temperature-Humidity indices as indicators of milk production losses due to heat stress. *J Dairy Sci.* 90: 1947–1956.
14. Bohmanova J, Misztal I, Tsuruta S, Norman HD, Lawlor TJ. 2008. Short communication: Genotype by environment interaction due to heat stress. *J Dairy Sci.* 91: 840–846.
15. Brouk M. 2005. Evaluating and selecting cooling systems for different climates. En: 7th. Western Dairy Management Conference. Reno, NV.
16. Castro S. 2009. El calor y la mastitis. *Producir XXI*. Argentina. [Internet]. Disponible en: http://www.produccionbovina.com.ar/sanidad_intoxicaciones_metabolicos/infecciosas/bovinos_leche/44-calor.pdf.
17. Collier RJ, Collier JL, Rhoads RP, Baumgard LH. 2008. Invited review: Genes involved in the bovine heat stress response. *J Dairy Sci.* 91: 445–454.
18. Cook NB, Mentink RL, Bennett TB, Burgi K. 2007. The effect of heat stress and lameness on time budgets of lactating dairy cows. *J Dairy Sci.* 90: 1674–1682.
19. Coventry J, Philips AJ. 2000. Heat stress in cattle. *Agnote 788* [Internet], [27 octubre 2000]. Disponible en: [https://transact.nt.gov.au/ebiz/dbird/TechPublications.nsf/221BB46922C40EAC69256EFE004F64DF/\\$file/788.pdf?OpenElement](https://transact.nt.gov.au/ebiz/dbird/TechPublications.nsf/221BB46922C40EAC69256EFE004F64DF/$file/788.pdf?OpenElement).
20. Cruz G, Saravia C. 2008. Un índice de temperatura y humedad del aire para regionalizar la producción lechera en Uruguay. *Agrociencia.* 7: 56-60.
21. De Palo P, Tateo A, Zezza F, Corrente M, Centoducati P. 2006. Influence of free-stall flooring on comfort and hygiene of dairy cows during warm climatic conditions. *J Dairy Sci.* 89: 4583-4595.
22. Dikmen S, Alava E, Pontes E, Fear JM, Dikmen BY, Olson TA, Hansen PJ. 2008. Differences in thermoregulatory ability between slick-haired and wild-type lactating Holstein cows in response to acute heat stress. *J Dairy Sci.* 91: 3395–3402.
23. Dikmen S, Hansen PJ. 2009. Is the temperature-humidity index the best indicator of heat stress in lactating dairy cows in a subtropical environment? *J Dairy Sci.* 92: 109–116.
24. Do Amaral BC, Connor EE, Tao S, Hayen J, Bubolz J, Dahl GE. 2009. Heat-stress abatement during the dry period: Does cooling improve transition into lactation? *J Dairy Sci.* 92: 5988–5999.

25. Do Amaral BC, Connor EE, Tao S, Hayen J, Bubolz J, Dahl GE. 2011. Heat stress abatement during the dry period influences metabolic gene expression and improves immune status in the transition period of dairy cows. *J Dairy Sci.* 94: 86-96.
26. Echevarría L, Huanca W, Delgado A. 2002. Identificación de las limitantes del comportamiento reproductivo y la eficiencia de la inseminación artificial en ganado lechero de la zona de Lima. *Rev Inv Vet Perú.* 13(2): 18-27.
27. Edwards JL, Bogart AN, Rispoli LA, Saxton AM, Schrick FN. 2009. Developmental competence of bovine embryos from heat-stressed ova. *J Dairy Sci.* 92: 563–570.
28. FAO, 2008. Guía para el bienestar animal en la producción lechera. Fed. Internac. de Lechería [Internet], [01 agosto 2008]. Disponible en: http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/animalwelfare/GUIA.pdf.
29. Fiorentino S, Barreto A, Asea A. 2007. Proteínas del choque térmico, muerte celular y respuesta antitumoral. *Universitas Scientiarum.* 12: 5-22.
30. Flamenbaum I, Ezra E. 2006. ¿Cómo enfrentan sus vacas el estrés calórico? *Hoard's Dairyman en Español.* : 581 – 583.
31. Flamenbaum I. 2007. ¿Qué es el "Índice de relación de rendimiento verano / invierno"? Un método para evaluar la eficiencia del uso de los medios para paliar el estrés calórico. *Hoard's Dairyman en Español.* : 619-621.
32. Flamenbaum I. 2008. Manejo del estrés calórico del ganado lechero en entorno tropical y subtropical. En: X Congreso Panamericano para la Leche. Costa Rica: FEPALE.
33. Flamenbaum I, Ezra E. 2009. ¿Como le pega el calor en verano a su producción de leche? *Hoard's Dairyman en Español.* : 644.
34. Flamenbaum, I. 2010a. Alta producción de leche en condiciones de estrés calórico. *Mundo Ganadero Perú.* 1: 44-50.
35. Flamenbaum I. 2010b. Relación costo – beneficio del sistema de enfriamiento de vacas lecheras en el verano en el norte de México. *Hoard's Dairyman en Español.* : 46-47.
36. Flamenbaum I. 2011. Relación costo – beneficio del sistema de enfriamiento de vacas lecheras en el verano en la zona costera de Perú. *Mundo Ganadero.* 2: 10-12.
37. Haak JL, Buettner GR, Spitz DR, Kregel KC. 2009. Aging augments mitochondrial susceptibility to heat stress. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* 296: R812–R820.
38. Hernández A, Cervantes P, Salinas VM, García R, Tejeda A, Gallardo F, Alvarez JL. 2007. Respuesta al estrés por calor en la vaca criollo lechero tropical bajo un sistema de doble propósito en México. *Rev Salud Animal.* 29(2): 85-90.

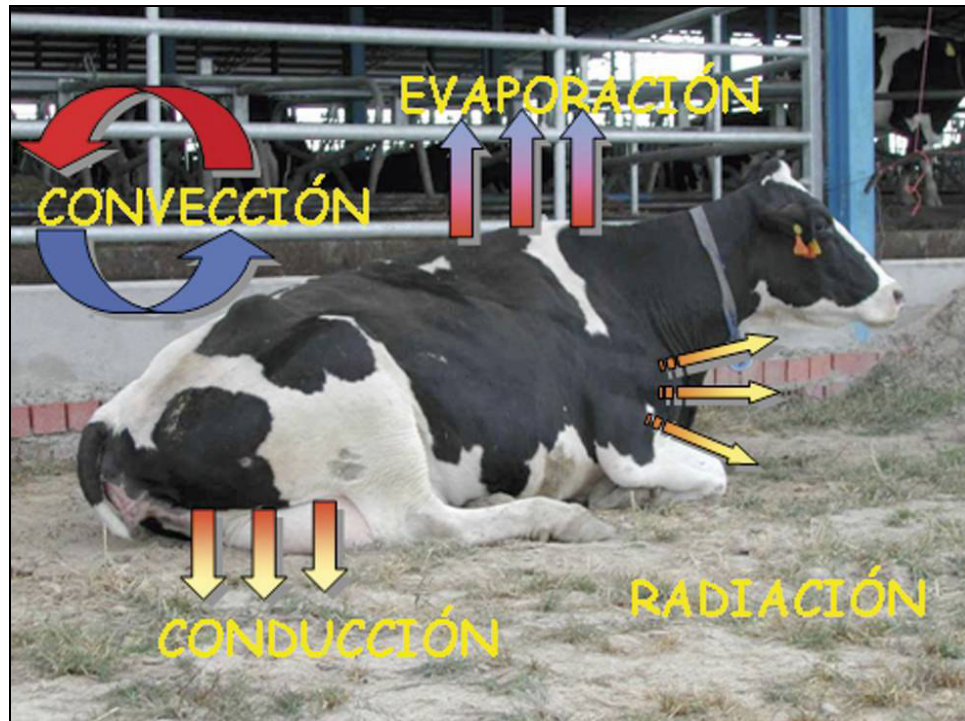
39. Jiménez LM. 2005. Estrés por calor en vacas de leche. Dossier [Internet]. Disponible en: <http://62.174.80.130/articulos/n171/A17105.pdf>.
40. Jimeno V, Castro T, Mazzuchelli F, Gonzáles M, Tesouro MA. 1998. Influence of heat stress in reproductive efficiency of dairy cattle: practical recommendations for its correction. Agris FAO. [Internet], [agosto 1998]. Disponible en: <http://agris.fao.org/agris-search/search/display.do?f=1998/ES/ES98011.xml;ES1998001634>.
41. Jordan ER. 2003. Effects of heat stress on reproduction. J Dairy Sci. 86 (E. Suppl.): E104-E114.
42. Katschinski DM. 2004. On heat and cells and proteins. Physiology 19: 11-15.
43. Knapp DM, Grummer R. 1991. Response of lactating dairy cows to fat supplementation during heat stress. J Dairy Sci. 74: 2573-2579.
44. Kume S, Toharmat T, Kobayashi N. 1998. Effect of restricted feed intake of dams and heat stress on mineral status of newborn calves. J Dairy Sci. 81: 1581-1590.
45. Lacetera N, Bernabucci U, Scalia D, Basirico L, Morera P, Nardone A. 2006. Heat stress elicits different responses in peripheral blood mononuclear cells from Brown Swiss and Holstein cows. J Dairy Sci. 89: 4606-4612.
46. Lodish H, Berck A, Matsudaira P, Kaiser CA, Krieger CA. 2003. Biología Celular y Molecular. 5a ed. España. Panamericana. 967 p.
47. Mader TL, Davis MS. 2004. Effect of management strategies on reducing heat stress of feedlot cattle: Feed and water intake. J Anim Sci. 82: 3077-3087.
48. Mader TL, Davis MS, Brown-Brandl T. 2006. Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. J Anim Sci. 84: 712-719.
49. Martínez EG. 1992. El estrés y la producción animal. Agris FAO. [Internet], [03 julio 1998]. Disponible en: <http://agris.fao.org/agris-search/search/display.do?f=1998/CO/CO98004.xml;CO1997001743>.
50. Martínez AL. 2006. Efectos climáticos sobre la producción del vacuno lechero: Estrés de calor. REDVET 7(10) [Internet], [01 octubre 2006]. Disponible en: <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n101006.html>.
51. Moallem U, Lehrer H, Livshitz L, Zachut M, Yakoby S. 2009. The effects of live yeast supplementation to dairy cows during the hot season on production, feed efficiency, and digestibility. J Dairy Sci. 92: 343-351.
52. Mujibi FD, Moore SS, Nkruma DJ, Wang Z, Basarab JA. 2010. Season of testing and its effect on feed intake and efficiency in growing beef cattle. J Anim Sci. 88: 3789-3799.

53. Oberto M, Reitú M, Pirra MA. 2006. Estrés calórico: ¿Qué podemos hacer? ¿Dietas frías, manejo del ambiente? Producir XXI. Argentina. [Internet]. Disponible en: <http://www.produccionbovina.com.ar/climayambientación.pdf>.
54. Olde Riekerink RGM, Barkema HW, Stryhn H. 2007. The effect of season on somatic cell count and the incidence of clinical mastitis. *J Dairy Sci.* 90: 1704–1715.
55. Ominski KH, Kennedy AD, Wittenberg KM, Moshtaghi Nia SA. 2002. Physiological and production responses to feeding schedule in lactating dairy cows exposed to short-term, moderate heat stress. *J Dairy Sci.* 85: 730-735.
56. Ortiz D, Camacho J, Echevarría L. 2009. Parámetros reproductivos del ganado vacuno en la cuenca lechera de Lima. *Rev Inv Vet Perú.* 20(2): 196-202.
57. Ortiz XA, Smith JF, Bradford BJ, Harner JP, Oddy A. 2010. A comparison of the effects of 2 cattle-cooling systems on dairy cows in a desert environment. *J Dairy Sci.* 93: 4955-4960.
58. Oseni S, Misztal I, Tsuruta S, Rekaya R. 2004. Genetic components of days open under heat stress. *J Dairy Sci.* 87: 3022-3028.
59. Ravagnolo O, Misztal I. 2000. Genetic component of heat stress in dairy cattle, parameter estimation. *J Dairy Sci.* 83: 2126-2130.
60. Ravagnolo O, Misztal I. 2002. Effect of heat stress on nonreturn rate in Holstein cows: Genetic analyses. *J Dairy Sci.* 85: 3092-3100.
61. Rhoads ML, Rhoads RP, Van Baale MJ, Collier RJ, Sanders SR, Weber WJ, Crooker BA, Baumgard LH. 2009. Effects of heat stress and plane of nutrition on lactating Holstein cows: I. Production, metabolism, and aspects of circulating somatotropin. *J Dairy Sci.* 92: 1986–1997.
62. Ruegg, PL. 2001. Milk secretion and quality standards. Wisconsin University. [Internet], [12 junio 2006]. Disponible en: <http://www.uwex.edu/milkquality/PDF/milksecretionandqualitystandards.pdf>.
63. Sartori R, Sartor-Bergfelt R, Mertens SA, Guenther JN, Parrish JJ, Wiltbank MC. 2002. Fertilization and early embryonic development in heifers and lactating cows in summer and lactating and dry cows in winter. *J Dairy Sci.* 85: 2803-2812.
64. Schingoethe DJ, Linke KN, Kalscheur KF, Hippen AR, Rennich DR, Yoon I. 2004. Feed efficiency of mid-lactation dairy cows fed yeast culture during summer. *J Dairy Sci.* 87: 4178-4181.
65. Schütz KE, Rogers AR, Poulouin YA, Cox NR, Tucker CB. 2010. The amount of shade influences the behavior and physiology of dairy cattle. *J Dairy Sci.* 93: 125–133.

66. Selkirk GA, McLellan TM, Wright HE, Rhind SG. 2009. Expression of intracellular cytokines, HSP72, and apoptosis in monocyte subsets during exceptional heat stress in trained and untrained individuals. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* 296: R575-R586.
67. [SENAMHI] Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. 2011. Impacto de las condiciones meteorológicas en la agricultura. Perú: SENAMHI. Boletín Hidrometeorológico. 26 p.
68. Settivari RS, Spain JN, Ellersieck MR, Byatt JC, Collier RJ, Spiers DE. 2007. Relationship of thermal status to productivity in heat-stressed dairy cows given recombinant bovine somatotropin. *J Dairy Sci.* 90: 1265-1280.
69. Shwartz G, Rhoads ML, VanBaale MJ, Rhoads RP, Baumgard LH. 2009. Effects of a supplemental yeast culture on heat-stressed lactating Holstein cows. *J Dairy Sci.* 92: 935–942.
70. Smith TR, Chapa A, Willard S, Herndon C, Williams RJ, Crouch J, Riley T. 2006. Evaporative tunnel cooling of dairy cows in the southeast I: Effect on body temperature and respiration rate. *J Dairy Sci.* 89: 3904-3914.
71. Servicio Nacional de Productividad. 2010. Lima: Universidad Agraria La Molina. [Internet], [Agosto, 2010]. Disponible en: <http://www.lamolina.edu.pe/productividadlechera/>.
72. Staib JL, Quindry JC, French JP, Criswell DS, Powers SK. 2007. Increased temperature, not cardiac load, activates heat shock transcription factor 1 and heat shock protein 72 expression in the heart. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 292: R432-R439.
73. Strydom CM, Walsh BJ, Knapp AE, Brafman D, Hogan MC. 2008. Elevation in heat shock protein 72 mRNA following contractions in isolated single skeletal muscle fibers. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* 295: R642-R648.
74. St. Pierre NR, Cobanov B, Schnitkey G. 2003. Economic losses from heat stress by US livestock industries. *J Dairy Sci.* 86: (E. Suppl.): E52-E77.
75. Valtorta S. 2003. Manejo del estrés térmico y composición de la leche. INTA Rafaela Mercoláctea [Internet], [10 mayo 2003]. Disponible en: http://www.inta.gov.ar/rafaela/info/documentos/mercolactea2003/estres_termico_y_composicion_leche.pdf.
76. Vasconcelos JL, Sá Filho OG, Justolin PL, Morelli P, Aragón FL, Veras MB, Soriano S. 2010. Effects of postbreeding gonadotropin treatments on conception rates of lactating dairy cows subjected to timed artificial insemination or embryo transfer in a tropical environment. *J Dairy Sci.* 94: 223-234.

- 77.** Vitali A, Segnalini M, Bertocchi L, Bernabucci U, Nardone A, Lacetera N. 2009. Seasonal pattern of mortality and relationships between mortality and temperature-humidity index in dairy cows. *J Dairy Sci.* 92: 3781–3790.
- 78.** West JW. 2003a. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *J Dairy Sci.* 86: 2131-2144.
- 79.** West JW, Mullinix BG, Bernard JK. 2003b. Effects of hot, humid weather on milk temperature, dry matter intake, and milk yield of lactating dairy cows. *J Dairy Sci.* 86: 232-242.

VI. ANEXO



Anexo 1: Esquema de las vías de eliminación de calor en la vaca



Anexo 2: Comportamiento de una vaca con estrés de calor, con la frecuencia respiratoria elevada, produciendo jadeo.



Anexo 3: Sombras adecuadas en los comederos.



Anexo 4: Sombras adecuadas en los bebederos



Anexo 5: Establo con echaderos individuales (free-stall)



Anexo 6: Ventiladores Hércules de 78" en la sala de enfriamiento, antes del ingreso al ordeño.
Instalación en establo Israelí.



Anexo 7: Mojado de las vacas bajo el sistema de enfriamiento, en la sala de espera antes del ordeño.



Anexo 8: Comparación de la intensidad de calor que produce una vaca en diferentes etapas de producción.



Anexo 9: Instalación de ventiladores en un establo en Perú. Establo Santa Fe – Lurín



Anexo 10: Instalación de ventiladores en un establo en Perú. Establo Primavera – Lurín.